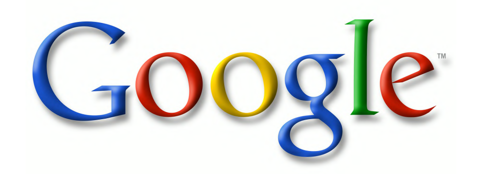


OSTWALD'S KLASSIKER
R EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.



PFLANZENPHYSIOLOGISCHE ABHANDLUNGEN.

I. Bluten des Rebstockes.
II. Bewegungen der Mimosa pudica.
III. Elementarorganismen.
IV. Brennhaare von Urtica.

Von

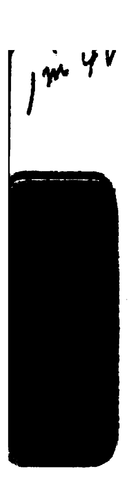
ERNST von BRÜCKE.

(1844—1862.)

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

1m 4v

98



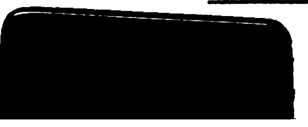
Ankündigung.

Diesem Mangel soll durch die Herausgabe der Klassiker der exakten Wissenschaften abgeholfen werden. In handlicher Form und zu billigem Preise sollen die grundlegenden Abhandlungen der gesammten exakten Wissenschaften den Kreisen der Lehrenden und Lernenden zugänglich gemacht werden. Es soll dadurch ein Unterrichtsmittel beschafft werden, welches das Eindringen in die Wissenschaft gleichzeitig belebt und vertieft. Dasselbe ist aber auch ein Forschungsmittel von grosser Bedeutung. Denn in jenen grundlegenden Schriften ruhten nicht nur die Keime, welche inzwischen sich entwickelt und Früchte getragen haben, sondern es ruhen in ihnen noch zahllose andere Keime, die noch der Entwicklung harren, und dem in der Wissenschaft Arbeitenden und Forschenden bilden jene Schriften eine unerschöpfliche Fundgrube von Anregungen und fördernden Gedanken.

Die Klassiker der exakten Wissenschaften sollen ihrem Namen gemäss die rationellen Naturwissenschaften, von der Mathematik bis zur Physiologie umfassen und werden Abhandlungen aus den Gebieten der Mathematik, Astronomie, Physik, Chemie (einschliesslich Krystallkunde) und Physiologie enthalten.

Die allgemeine Redaktion führt von jetzt ab Professor emer. Dr. Arthur von Oettingen in Leipzig; die einzelnen Ausgaben

Fortsetzung auf der dritten Seite des Umschlages.



PFLANZENPHYSIOLOGISCHE
ABHANDLUNGEN.

I. Bluten des Rebstockes.
II. Bewegungen der Mimosa pudica.
III. Elementarorganismen.
IV. Brennhaare von Urtica.

Von

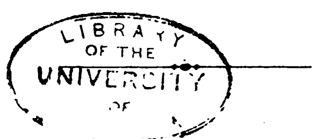
ERNST VON BRÜCKE.
1844—1862.

Herausgegeben

von

A. Fischer
(Leipzig).

Mit 9 Textfiguren.



LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1898.

[177] I.

Ueber das Bluten des Rebstockes.

Von

Ernst Brücke.

(Hierzu eine Textfigur.)

Aus *Poggendorff's* Annalen der Physik und Chemie 63. Bd. 1844.

Wenn das warme Frühlingswetter unsere Fluren von Neuem belebt, bemerken wir, dass sich in den Bäumen eine so bedeutende Menge Saft anhäuft, dass derselbe in einigen von ihnen aus gemachten Wunden nicht nur hervorquillt, sondern sogar mit einer bedeutenden Kraft aus ihnen hervorgetrieben wird. Zu dieser Zeit sagen wir der Saft steige, und das Hervorquellen desselben nennen wir das Bluten der Bäume. An diese Erscheinung haben sich zu allen Zeiten für die Physiologie zwei Fragen geknüpft, nämlich die: Welche ist die Kraft, die das Wasser aus der Erde bis in die Wipfel der Bäume hinauftreibt? und welche sind die Wege, die dasselbe hierbei durch Wurzeln, Stamm und Aeste verfolgt? Alle Antworten, welche auf die erste dieser beiden Fragen vor dem Jahre 1826 gegeben wurden, bestanden in todtgeborenen Hypothesen, die nicht einmal die bereits beobachteten Erscheinungen zu erklären vermochten; in dem erwähnten Jahre aber geschah ein plötzlicher und ausserordentlicher Schritt in der Pflanzenphysiologie, indem *H. Dutrochet* sein *Agent immédiat du mouvement vital* veröffentlichte, ein Werk, das bei allen seinen Irrthümern ein ungeahntes Licht über ein noch völlig dunkles Feld der Wissenschaft verbreitete. *Dutrochet* ist nicht der Entdecker der hydro-mechanischen Wirkungen, welche die Diffusion tropfbar flüssiger Körper mit sich führt, aber er hat das hohe Verdienst, dieselben als Ursache des Saftsteigens erkannt zu haben. In Bezug auf die zweite unserer Fragen gaben die von [178] *Malpighi*

und *Henshaw* entdeckten Spiralröhren sehr bald Veranlassung, sie als wohlgebahnte Wege für den aufsteigenden Saft anzusehen. *Dutrochet*, der zuerst die Mittel in Händen hatte, diesen Irrthum zu beseitigen, liess sich durch vorgefasste Meinungen und durch das Hervorquellen des Saftes aus durchschnittenen Spiralröhren verleiten, in demselben zu verharren. Das Wesentliche seiner Ansichten über die Wege des Saftes (*les routes de la sève*) besteht darin, dass er, wie Andere vor und nach ihm, zwei Saftarten unterschied, den rohen und den unter andauernder Berührung mit der Atmosphäre bereits elaborirten Nahrungssaft; ersterer sollte in den Spiralröhren (von denen er jedoch die früher sogenannten Tracheen oder echten Spiralröhren als eigenthümliche Organe abtrennt) auf-, der letztere in den Holzzellen, namentlich in den jüngeren, absteigen, und beide sollten sich in allen Theilen des Baumes mit einander diffundiren. Seit jener Zeit wurde die Lehre vom Aufsteigen des Saftes, oder richtiger des Wassers, obgleich für sie eine neue Aera begonnen hatte, wenig gefördert, indem man sich hauptsächlich damit beschäftigte, auszumalen, wie bequem es für den Saft sein müsse, in den Spiralröhren zu steigen, da ihn hier keine Querscheidewände behinderten, bis endlich *Schleiden* in seinen »Grundzügen der wissenschaftlichen Botanik« in einer für einen grossen Theil der Pflanzenphysiologen nicht eben schmeichelhaften Weise auf das Haltlose der gangbaren Theorien über die Saftbewegung aufmerksam machte. Wenn dieser reichbegabte Naturforscher bei seinen vielfachen anderweitigen Beschäftigungen Zeit gefunden hätte, seine trefflichen allgemeinen Ansichten durch eigene Versuche im Einzelnen zu vervollkommnen und eindringlich zu machen, so würde es seinem kritischen Geiste ohne Zweifel gelungen seyn, der ganzen Lehre vom Aufsteigen des Saftes eine neue Gestalt zu geben; bis jetzt aber scheinen seine rauhen Mahnungen noch kein hinreichendes Gehör gefunden zu haben, [179] indem noch jüngst in der sonst fleissigen und gewissenhaften Preisschrift von *Rominger* (Botanische Zeitung den 17. März 1843) die Spiralröhren als die das Aufsteigen des Saftes im Frühlinge vermittelnden Organe dargestellt wurden. Ich habe es mir deshalb zur Aufgabe gemacht, so viel, wie in meinen schwachen Kräften steht, über die wahren Wege der in die Bäume hineinsteigenden Wassermasse, über ihre wahren Bewegungen in den verschiedenen Jahreszeiten und deren Ursachen zu erforschen.

Was ich in diesem Augenblicke dem Leser vorlege, ist nichts als eine Reihe von Beobachtungen, welche ich in diesem Frühjahre angestellt habe, mit den Folgerungen, die sich aus denselben ableiten lassen; ich habe aber denselben noch einige Bemerkungen voranzuschicken.

Die absolute Wassermenge, welche jeder Baum zu jeder Jahres- und Tageszeit enthält, oder wenigstens, wenn er sie fassen könnte, enthalten würde, ist eine Function dreier fortwährend variirender Grössen: der Summe von Anziehung, welche er in allen seinen Theilen auf eine bestimmte Wassermenge ausübt, der Wassermenge, welche mit seinen verschiedenen Theilen in so nahe Berührung kommt, dass die anziehenden Kräfte wirksam werden können, und endlich der Summe von Kräften, welche das Wasser theils aus dem Baume zu entfernen, theils ihm dasselbe vorzuenthalten streben. Jeder Baum enthält ferner in sich eine gewisse Menge Raum, in welchem er das Wasser beherbergen kann. Zwischen diesem Raum und der absoluten Wassermenge können drei Verhältnisse stattfinden: entweder das Volumen der absoluten Wassermenge ist kleiner als der Raum, oder sie füllt ihn gerade aus, oder die Wassermenge ist zu gross für den Raum, der Baum vermag sie nicht aufzunehmen, und seine wirkliche Wassermenge entspricht also nicht den actuellen Werthen der drei obigen Variabeln. Wenn man nun aber dem Wasser künstlich einen [180] Ausweg bahnt, so wird es anfangen auszufliessen oder vielmehr überzufliessen, gerade so wie es aus der Röhre eines Endosmometers ausfliesst, nachdem sich dasselbe völlig mit Flüssigkeit angefüllt hat, und dies wird so lange andauern, bis sich die Function in der Weise geändert hat, dass kein Wasser mehr auszufliessen braucht. Es ist jedoch zu bemerken, dass zwar ein Baum, der mehr Wasser anzuziehen sucht, als er beherbergen kann, sich immer im Stadium des Blutens befindet, dass aber keineswegs jeder Baum, der blutet, schon durch und durch völlig mit Wasser angefüllt ist. Dies hat darin seinen Grund, dass in einzelnen Räumen oft Luft in der Weise eingeschlossen ist, dass sie schwer aus denselben verdrängt werden kann, wie dieses z. B. in dem abgestorbenen Mark der Internodien der Fall ist, theils darin, dass die einzelnen Räume überhaupt unvollkommen mit einander communiciren, so dass einzelne Theile des Baumes schon bluten können, während andere noch nicht vollkommen mit Flüssigkeit erfüllt sind. Da nun die

Bäume den ganzen Winter hindurch in allen Höhen bis zum Wipfel hinauf Wasser enthalten, und dieses nur in den verschiedenen Elementargebilden, also wesentlich in den verschiedenen Theilen des Querschnittes, verschieden vertheilt ist, so leuchtet es nach der obigen Auseinandersetzung ein, dass man bei der Betrachtung des Ueberganges aus dem Stadium der Saftarmuth in das des Saftreichthums der Frage: Auf welchem Wege steigt der Saft in die Bäume? einfach die zu substituiren hat: Wie und in welcher Reihenfolge füllen sich die verschiedenen Elementargebilde des Baumes mit Saft? Zu Anfang des Frühlings sind nur die Lumina derjenigen Zellen völlig mit Saft angefüllt, welche eine grössere Menge löslicher vegetabilischer Substanzen enthalten. Dies sind die Zellen, welche noch in der Vegetation begriffen sind, also die der Knospen, der Anlage des jungen Holzringes und der jüngsten Rindenschicht. In den übrigen Zellen sind [**181**] meist nur die Wände und die etwa in ihnen abgelagerten festen Substanzen, je nach ihren hygroscopischen Eigenschaften, mehr oder weniger mit Flüssigkeit durchzogen; sobald aber die Metamorphose des Amylons beginnt, bilden sich in denjenigen Zellen, in denen es abgelagert ist, lösliche Substanzen, die Wasser in grosser Menge und mit grosser Kraft anziehen, und so die Höhle der Zelle mit Flüssigkeit erfüllen. Für die Zufuhr des Wassers sind keine besonderen Gefässe nöthig, in denen der Saft steigt; denn es ist in allen Höhen, ja in jeder Zellenwand vorhanden, und wird fortwährend durch neues ersetzt. Wenn diese Zellen sich mit Flüssigkeit erfüllt haben, so verbreitet sich der Ueberschuss derselben, welchen die kräftige Anziehung der löslichen Substanzen auf das Wasser bedingt, in diejenigen, welche kein Amylum enthielten, und in die Spiralröhren, aber in diese letzteren im Allgemeinen später als in die Zellen, indem das Wasser in einem Aggregat von capillaren Räumen mit benetzbaren oder gar schon von Wasser durchzogenen Wänden immer die engsten Räume zuerst ausfüllt, und erst dann, wenn noch ein Ueberschuss von Wasser vorhanden ist, die weiteren, wie dieses aus der Capillaritätslehre bekannt ist. Nachdem sich nun so die verschiedenen Theile des Baumes, welche überhaupt noch Saft aufnehmen, mit demselben erfüllt haben, beginnt das Stadium des Saftreichthums, in dem wir an einigen unserer Bäume das Bluten beobachten.

In der folgenden Abhandlung, welche die Erscheinung

des Blutens von ihrem Anfange bis zu ihrem Erlöschen verfolgt, habe ich den Weinstock als Paradigma gewählt, theils weil sich an ihm die Versuche am bequemsten anstellen lassen, theils weil frühere Beobachtungen über diesen Gegenstand, welche ich mit den meinigen zu vergleichen wünschte, an ihm angestellt worden sind. Alle meine Angaben beziehen sich also speciell auf ihn. Wenn die Erscheinungen erst an einer [182] Pflanze genau und gründlich studirt sind, so wird es leicht seyn, die gewonnenen Resultate durch Versuche an anderen und durch Vergleichung ihres inneren Baues mit dem des Rebstockes zu verallgemeinern, und auch auf die monokotyledonischen Gewächse anderer Länder, welche zum Theil sehr stark und oft das ganze Jahr hindurch bluten, auszudehnen. Für den Anfang habe ich es für nöthig gehalten, unter möglichst einfachen und bekannten Bedingungen zu arbeiten, da dies der einzige Weg ist, um sichere und exacte Resultate zu erhalten. Ich gehe jetzt zur Beschreibung fremder und eigener Beobachtungen und Versuche in der gehörigen Reihenfolge über, indem ich schliesslich bitte, aus denselben keine directen Schlüsse auf die Saftbewegung zu anderen Jahreszeiten zu machen, weil dieselben zu wesentlichen Irrthümern führen könnten.

Wenn man im Frühling, kurz vor der Zeit, in welcher das Bluten des Rebstockes beginnt, an irgend einer Stelle desselben einen Zweig abschneidet, so findet man, dass alle Zellen des Holzkörpers mit Flüssigkeit durchtränkt sind, zu derselben Zeit aber sind die Spiralröhren bis in die Wurzel hinunter noch völlig leer, oder vielmehr sie enthalten nichts als Luft. Diese Thatsache, von der sich jeder in der entsprechenden Jahreszeit leicht überzeugen kann, schliesst von vorn herein jede Hypothese über das primäre Aufsteigen des Saftes in den Spiralröhren aus; denn es wäre wahrlich ein Kunststück, ein Gefäss durch eine Röhre mit Wasser zu füllen, ohne dass dasselbe in sie hineingelangte. Wir werden später sehen, dass die Behauptung, es steige der Saft in den Spiralröhren, sich keineswegs auf falsche Beobachtungen, aber wohl auf unrichtige Deutung des richtig Gesehenen gründet. Wenn man nun Tag für Tag Zweige vom Weinstock abschneidet, so gewahrt man eines Morgens, dass die Schnittfläche nicht wie gewöhnlich nur feucht ist, sondern dass aus ihr etwas Flüssigkeit langsam [183] hervorquillt, und das Bluten hat begonnen. Will man sicher seyn, die ersten Anfänge desselben

genau zu beobachten, so muss man mehrjährige Triebe nicht zu hoch über der Erde abschneiden, weil das Ausfliessen des Saftes in den höheren Theilen später beginnt als in den niederen, ein Umstand, der später als natürliche Folge der hydrostatischen Gesetze erscheinen wird, und weil sich an den weiteren Spiralröhren der älteren Aeste die folgende Beobachtung leichter machen lässt, als an den engeren der einjährigen[1]). Man sieht nämlich häufig mit der Lupe und bisweilen schon mit blossen Augen den Saft ganz deutlich aus den durchschnittenen Spiralröhren hervorquellen, wie dieses schon *Dutrochet* beobachtete, und wie es jüngst *C. L. Rominger* (*l. c.*) genau und vortrefflich beschrieben hat. Der ausfliessende Saft ist eine klare farblose Flüssigkeit, deren Gewicht erst in der dritten oder vierten Decimale von dem des destillirten Wassers abweicht[2]). Schon vor mehr als hundert

---

1) Man hat bisweilen Gelegenheit zu beobachten, dass dicke Aeste schon bluten, wenn einjährige Triebe in gleicher Höhe noch nicht bluten. *Dutrochet* schreibt dieses einer mangelhaften Durchgängigkeit der Spiralröhren in den jungen Trieben zu; ich zweifle jedoch, dass man ihm hierin beipflichten kann. Spätere Beobachtungen müssen erst näheren Aufschluss über die wahre Ursache dieser Erscheinung geben.

2) *Knight* fand bei Versuchen an der Sykomore und Birke, dass der Saft, welchen er in verschiedenen Höhen zapfte, ungleiche Dichtigkeit hatte, und zwar so, dass die Dichtigkeit mit der Höhe zunahm. Dieses Resultat ist neuerlich von *Biot* bestätigt worden (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 22 *Février 1841*). So wahrscheinlich es mir auch aus anderweitigen Gründen ist, dass der in den Zellen befindliche Saft in den oberen Theilen der Bäume concentrirter ist, als in den unteren, so muss ich doch gestehen, dass ich die angestellten Versuche nicht für besonders conclusiv halte; da der Saft, den man aus jedem Bohrloche zapfte, in der That aus sehr verschiedenen Höhen mit grosser Geschwindigkeit zusammenströmte, und es überdies ungewiss ist, ob er analogen Theilen des Querschnittes des Stammes angehörte, was bei diesen Versuchen von grosser Bedeutung sein kann. Eben so fand *Knight*, dass der Saft, der aus [184] einem und demselben Bohrloche ausfliesst, mit der Zeit verdünnter wird, was vielleicht von dem Verluste, welchen der Baum in der zunächst betheiligten Partie an löslichen Substanzen erlitt, herrührt. Auch dies wird an demselben Orte von *Biot* bestätigt. Bei meinen wenigen Versuchen zapfte ich zu verschiedenen Zeiten Saft aus verschiedenen Weinstöcken in ziemlich gleichen Höhen, und fand das Gewicht desselben mit dem Vorrücken der Vegetationsperiode um etwas wachsen. Die Versuche sind jedoch nur gemacht, um das Gewicht einer Saftsäule von gegebener Höhe für anderweitige Zwecke annähernd zu bestimmen, und machen auf weitere Folgerungen keinen Anspruch.

[184] Jahren stellte ein unvergleichlicher Beobachter, *Stephan Hales*, Versuche über die Kraft an, mit welcher der Saft zu verschiedenen Zeiten aus den Spiralröhren hervorquillt, indem er auf eine, in seinem unsterblichen Werke (*Vegetable Staticks or an account of some statical Experiments on the sap in vegetables being an Essay towards a natural history of Vegetation also a Specimen of an attempt to analyse the air by a great Variety of chimico-statical Experiments. London MDCCXXVII*) näher beschriebene Weise, Glasröhren auf Stümpfen oder gekappten Aesten von Rebstöcken befestigte, und in ihnen entweder den steigenden Saft unmittelbar, oder die Bewegungen einer Quecksilbersäule, die demselben das Gleichgewicht hielt, beobachtete. Seine Versuche und die daraus gezogenen Schlüsse sind in Kurzem folgende:

Erstens befestigte er am 31. März auf dem $^3/_4$ Zoll dicken Stumpfe eines 7 Zoll über der Erde, unterhalb aller Verzweigungen abgeschnittenen Weinstockes ein System von der Länge nach zusammengesetzten Glasröhren, in denen der Saft nach und nach bis auf 21 Fuss stieg. Der Stock war der Abendsonne ausgesetzt, das Steigen war den Tag über am stärksten, besonders zur Zeit der grössten Tageswärme, nach Sonnenuntergang liess es nach, ja der Saft fiel bisweilen um zwei bis drei Zoll.

Zweitens setzte er am 6. April ein doppelt gebogenes [185] Rohr das zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt war, auf den $^7/_8$ Zoll dicken Stamm eines gegen Süden gelegenen Weinstocks, den er zwei und dreiviertel Fuss über der Erde und ebenfalls unterhalb aller Verzweigungen abgeschnitten hatte. Das Quecksilber erreichte am 15. April 7 Uhr Morgens sein Maximum von $32^1/_2$ Zoll; es fiel bei diesem Versuche jedesmal am Tage um einige Zolle, nur am 17. April bei warmem Regen stieg es den ganzen Tag über.

Hales zieht aus diesen beiden Versuchen den richtigen Schluss, dass das Saftsteigen an sich durch die Tageswärme begünstigt werde, und nur die Verdunstung, die in dem zweiten Versuche wegen der grösseren Länge des Stammes grösser war, das Quecksilber während eines Theiles des Tages fallen mache. Dies stimmt vollkommen damit überein, dass, wie schon *Dutrochet* gezeigt hat, die hydro-mechanischen Wirkungen der Diffusion bei steigender Temperatur wachsen, wenigstens innerhalb der Gränzen, zwischen welchen sich die

Variationen unserer Lufttemperatur bewegen. Ich muss übrigens gestehen, dass es mir überaus wahrscheinlich ist, dass bei dem zweiten Versuche der abgeschnittene Weinstock durch die Wurzel mit einem anderen zusammenhing, was bei Spalierstöcken sehr häufig der Fall ist, und worauf *Hales* wohl keine besondere Aufmerksamkeit richtete, da ihm die möglichen Folgen dieses Umstandes für seinen Versuch wenigstens damals noch unbekannt gewesen zu sein scheinen. Ich vermuthe dies deshalb, weil mir das tägliche Sinken, welches am 11., 14. und 16. April $6^1/_2$ und $6^3/_4$ Zoll Quecksilber betrug, viel zu beträchtlich scheint, um der Verdunstung eines alten $2^3/_4$ Fuss langen Stammes zugeschrieben zu werden, während, wenn eine Verbindung mit einem andern Stocke stattfand, die Verdunstung dieses ganzen Stockes mit in Betracht kommen konnte, wie sich dieses aus meinen Versuchen ergeben wird.

[**186**] Drittens befestigte *Hales* ein Glasrohr, wie das vorige, dicht über der Erde an einen Weinstock von 20 Fuss Höhe (*a Vine wich run 20 feet high*, was *Buffon* sehr zum Nachtheile des Verständnisses mit *une vigne qui portait un cep de 20 pieds de longueur* übersetzt)[1]), und das Quecksilber erreichte in ihm ein Maximum von 38 Zoll.

Viertens befestigte er am 4. April drei Röhren auf drei Zweigen eines Weinstockes, von denen der eine ein alter Ast, die beiden anderen zweijährige Triebe waren. Er beobachtete hierbei, dass die Variationen, welche durch Temperaturwechsel und Tageszeiten hervorgebracht werden, sich an dem alten Aste stärker markirten, als an den beiden jüngeren. Mit den drei Maximis von 21, 26 und 26 Zoll Quecksilber, welche er angiebt, lässt sich leider nicht viel anfangen, da man zwar die Höhe des Weinstockes aus der Höhe der Mauer ($11/_2$ Fuss), an der er gezogen war, errathen kann, es aber unmöglich ist, die Erhebung der Nullpunkte der Quecksilberflächen über dem Erdboden aus den Angaben von *Hales* zu bestimmen, indem er nur die Entfernungen der Schnittflächen von der Wurzel, den Stamm und die Aeste entlang gemessen hat, Grössen, die, wie wir bald sehen werden, vollkommen unwesentlich sind.

Fünftens machte *Hales* noch verschiedene Versuche, bei denen er theils eine, theils mehrere Röhren auf Weinstöcken befestigte, über die aber kein hinreichendes Detail vorhanden

---

[1]) *Statique des végétaux p. M. Hales, traduit de l'Anglais par Buffon. A Paris MDCCXXXV.*

ist, um die numerischen Resultate mit anderweitigen Beobachtungen zu vergleichen. Er machte dabei folgende Wahrnehmungen:

Je frischer die Schnittfläche war, um so mehr stieg und fiel der Saft binnen 24 Stunden, so dass sich die Differenz zwischen täglichem Maximum und täglichem Minimum auf 4 bis 6 Fuss (Saft) belief, aber nach 5 bis 6 Tagen war die Differenz nicht mehr so gross, weil [**187**] sich die Gefässe auf dem Querschnitt angefüllt und zusammengezogen hatten (*the sap-vessels at the transverse cut being saturate and contracted*). Wenn er dann den Ast um ein oder zwei Knoten tiefer abschnitt und das Rohr von Neuem befestigte, war das Steigen und Fallen wieder sehr beträchtlich.

Warme und feuchte Luft begünstigte das Steigen des Saftes. — Wenn zu Anfang oder in der Mitte der Zeit des Blutens die Witterung günstig war, so stieg der Saft sehr kräftig, die Kraft ward aber durch kalte Ostwinde vermindert.

Wenn am Morgen während des Saftsteigens ein kalter Wind wehte bei abwechselndem Wolkenschatten und Sonnenschein, so sank und stieg der Saft plötzlich, wie das Quecksilber im Thermometer, um einen oder mehrere Zolle (Saft), je nachdem Schatten eintrat oder die Sonne wieder frei wurde.

Der Beginn des täglichen Sinkens fiel früher an den Weinstöcken die gegen Morgen sahen, als in denen gegen Mittag, am spätesten in denen gegen Abend.

Warmer Regen nach einem kalten Tage machte, dass der Saft gegen Mittag nicht fiel, sondern nur langsamer stieg.

Als in einem Zwischenraume von vier bis fünf Tagen auf zwei Aeste desselben Stammes Röhren gesetzt wurden, stieg der Saft in der zuletzt aufgesetzten am höchsten; aber als die zweite aufgesetzt wurde, wobei viel Saft ausfloss, sank der Saft in der zuerst aufgesetzten, und setzte sich hernach nicht wieder ins Gleichgewicht (*i. e. surface of the sap in each was at very unequal heights*), was von der Schwierigkeit herrührte, mit der der Saft durch die angefüllten und contrahirten Gefässe des zuerst abgeschnittenen Astes drang.

Bei sehr warmem Wetter stieg eine so grosse Menge von Luftblasen in dem Safte auf, dass sie einen zollhohen Schaum auf denselben bildeten.

Soweit *Stephan Hales.*

[**188**] *Brisseau Mirbel* (*Eléments de physiologie végétale et de Botanique. à Paris 1815, p. 198*) machte im

April 1811 einen Versuch, bei welchem das Quecksilber bis auf 29 Zoll gehoben wurde, über den aber alle weiteren Bestimmungen fehlen.

Meyen (Neues System der Pflanzenphysiologie. Berlin 1838, Bd. II, S. 59) wiederholte im April 1837 die Versuche von *Hales*, und bestätigt dessen Resultate; seine Beschreibung der Versuche ist aber so unvollkommen, dass man aus denselben nichts Sicheres mehr entnehmen kann.

Meine eigenen Versuche habe ich im April und Mai dieses Jahres an den Weinstöcken des Herrn Geheimrath *Mitscherlich*, der mir mit gewohnter Bereitwilligkeit und Güte die Erlaubniss dazu ertheilte, angestellt. Die Röhren, welcher ich mich bediente, hatten die in nebenstehender Figur abgebildete Form. Der Durchmesser des dickeren Theiles der Röhre war grösser oder geringer, je nach der Dicke des Zweiges auf den dieselbe gesetzt wurde, der innere Durchmesser des dünneren Theiles belief sich auf 1 bis 1,3 Millimeter. Diese Röhren wurden so weit mit Quecksilber gefüllt, dass dasselbe, wenn sie vertical standen, den Raum *abc* ausfüllte, und die durch den engeren Theil gesetzte Capillardepression bemerkt. Dann wurde auf das Ende des dicken Schenkels ein vierfaches Kautschuckrohr von etwas mehr als einem Zoll Länge gesteckt, das, nach *Mitscherlich*'s Methode, mit entgegengesetzten Näthen gefertigt war, und durch dieses das Glasrohr auf dem gekappten Aste befestigt, so dass das Ende des absteigenden Schenkels unmittelbar auf der Schnittfläche stand. Um das Kautschuckrohr wurde alsdann noch ein zollbreiter Streifen Kartenpapier gewickelt und mit Bindfaden befestigt. [189] Unterlässt man diese Vorsichtsmaassregel, so wird das Kautschuckrohr durch den wachsenden Druck von innen zwischen den Ligaturen bauchig ausgedehnt, was zwar an sich nichts zu bedeuten hat, weil es dem Weinstocke auf die Production von einem Kubikcentimeter Saft mehr oder weniger nicht ankommt, und der Druck dadurch nicht verändert wird, was aber leicht ein Zerreissen des Kautschucks nach sich zieht, wenn derselbe durch die Sonnenhitze erweicht wird.



Die Umstände erlaubten mir nicht, die Versuche, welche

Hales mit einzelnen astlosen Stämmen angestellt hat, zu wiederholen, doch lässt die unübertreffliche Genauigkeit dieses Naturforschers keinen Zweifel an der Richtigkeit des Beobachteten aufkommen. Was in Rücksicht auf die Bedingungen des zweiten Versuchs zu bemerken ist, das ist oben erwähnt worden, und ich kann deshalb denselben später nicht zur Vergleichung mit anderen Beobachtungen benutzen.

Meine Versuche wurden sämmtlich an Spalierstöcken gemacht, von denen die, auf welchen die Röhren No. I bis V standen, an einer Mauer gegen Osten, die, auf denen die Röhren No. VI bis XV standen, an einer Mauer gegen Süden gezogen waren.

Die an den verschiedenen Röhren zu verschiedenen Zeiten gemessenen Differenzen zwischen den Quecksilberständen in beiden Schenkeln sind in der Tabelle am Schlusse dieser Abhandlung nach Pariser Linien verzeichnet. Ueber die näheren Bedingungen der Versuche habe ich noch Folgendes hinzuzufügen.

Die Röhre No. I wurde am Morgen des 18. April auf einen mehrjährigen Ast, dessen grösster Durchmesser 6 Par. Linien, der kleinste $4^1/_2$ Lin. betrug, $2^1/_4$ Par. Fuss über der Erde aufgesetzt.

Die Röhre No. II wurde an demselben Morgen in gleicher Höhe auf einen einjährigen Trieb von $3^1/_2$ Lin. Dicke eines anderen Weinstockes aufgesetzt.

[**190**] Die Röhre No. III wurde an demselben Morgen in einer Höhe von 10 Fuss über der Erde auf einen einjährigen Trieb (dessen grösster Durchmesser $3^1/_2$ Lin., der kleinste $2^1/_2$ Lin. betrug) eines dritten Weinstockes aufgesetzt.

Die Röhren No. IV und V wurden am Abend des 19. April aufgesetzt, erstere $6^3/_4$ Fuss über der Erde auf einen einjährigen Trieb von $2^1/_2$ Lin. Dicke, letztere auf einen einjährigen Schössling von derselben Dicke, der aus derselben Wurzel sprosste, $1^3/_4$ Fuss über der Erde.

Alle vier Stöcke hatten die Sonne von Morgens 7 Uhr bis Mittags 12 Uhr.

Die Röhren No. VI und VII wurden am Vormittage des 23. April auf zwei einjährige Triebe eines und desselben Stockes gesetzt, von denen der für VI als grössten Durchmesser 4 Lin., als kleinsten 3 Lin. hatte, der zweite als grössten 3 Lin., als kleinsten $2^1/_2$ Lin. No. VI stand 8 Fuss über der Erde, No. VII 6 Fuss 8 Zoll darunter, also 1′ 4″

über der Erde. Der Stock bekam die Sonne Morgens zwischen 7 und 8 Uhr, verlor sie Mittags nach 12 Uhr.

Die Röhren No. VIII und IX wurden am Morgen des 27. April auf zwei einjährige Triebe eines und desselben Stockes aufgesetzt, von denen der, auf dem No. VIII stand, als grössten Durchmesser $3^1/_2$ Lin. als kleinsten 3 Lin. hatte, und der, auf dem No. IX stand, 3 Lin. dick war. No. VIII stand 7 Fuss über der Erde, No. IX $4^1/_4$ Fuss darunter. Der Stock bekam die Sonne um 9 Uhr, verlor sie nach 1 Uhr. No. IX ward am Abend des 1. Mai nach 8 Uhr zerschlagen, weshalb hier die Beobachtungen abbrechen.

Die Röhre No. X ward am Morgen des 30. April $6^1/_4$ Fuss über der Erde auf einen einjährigen Trieb aufgesetzt, dessen grösster Durchmesser 4 Lin., der kleinste 3 Lin. betrug.

Die Röhre No. XI wurde zu derselben Zeit $3^3/_4$ Fuss [191] unter X auf denselben Stock, aber auf einen zweijährigen Trieb aufgesetzt, dessen grösster Durchmesser 4 Lin., der kleinste $3^1/_2$ Lin. betrug. Der Stock bekam die Sonne zwischen 9 und 10 Uhr, verlor sie zwischen 1 und 2 Uhr.

Die Röhre No. XII wurde am 3. Mai Nachmittags 3 Uhr auf einen einjährigen Trieb von 2 Lin. Dicke 2 Fuss über der Erde aufgesetzt. Als am Abend 7 Uhr von dem benachbarten Stocke $4^3/_4$ Fuss über der Erde ein einjähriger Trieb (dessen grösster Durchmesser $3^3/_4$ Lin., der kleinste $3^1/_2$ Lin. betrug) für die Röhre No. XIII abgeschnitten wurde, stand das Quecksilber in XII schon auf 17″ 5‴, fing aber nach dem Abschneiden plötzlich an zu fallen. Nachdem XIII möglichst schnell aufgesetzt war und das Quecksilber in ihr zu steigen begonnen hatte, fing es auch in XII allmählich wieder an zu steigen, und erhob sich in ziemlich kurzer Zeit wieder bis auf 17″ 1‴, in XIII aber stieg es in derselben Zeit auf 15″.

Die Röhren No. XIV und XV wurden am 8. Mai zwischen 8 und 9 Uhr Morgens in gleicher Höhe (3′ 7″ über der Erde) auf zwei benachbarte Stöcke aufgesetzt. Beide Triebe waren einjährig, der auf den XIV gesetzt wurde, hatte als Durchmesser 4 Lin. und 3 Lin., der auf den XV gesetzt wurde, $2^3/_4$ Lin. und $2^1/_2$ Lin. Während des Befestigens stieg das Quecksilber ausserordentlich schnell, und erreichte in sehr kurzer Zeit in XIV die Höhe von 11, in XV, das einige Minuten früher aufgesetzt wurde, die Höhe von 13 Zoll.

Sucht man nun zuvörderst die Angabe von *Hales*, dass

die tägliche Periode um so stärker markirt sei, je frischer der Schnitt ist, an meinen Beobachtungen zu prüfen, so findet man sie überall bestätigt. Als Grund dieser Erscheinung führt *Hales* an, dass sich die Spiralgefässe contrahirten und verstopften. Was ich darüber beobachtet habe, ist Folgendes. Als am Abend des 1. Mai die Röhre No. IX zerschlagen war, hing ich am anderen Morgen unter dem zurückgebliebenen Stücke Glasrohr, [**192**] das noch bis an sein erstes Knie mit Saft gefüllt war, eine Flasche auf, um zu sehen, wie stark der Ast noch blute, und fand nach 24 Stunden nur wenige Tropfen Saft in der Flasche. Hierauf nahm ich mehrere andere alte Röhren ab, und fand, dass ihre Aeste fast gar nicht mehr bluteten. Die mikroskopische Untersuchung der Aeste zeigte, dass die Spiralröhren an der Schnittfläche mit einer körnigen, undurchsichtigen, braungefärbten Masse erfüllt waren, welche die kleinen ganz verstopfte, in den grösseren in der Mitte ein kleines Loch zurückliess. Diese Masse konnte indess nicht die alleinige Ursache der Verstopfung sein, denn wenn man einen Querschnitt von einer Linie und mehr Dicke von einem solchen Aste abtrug, so begann der Saft noch nicht wieder hervorzudringen, sondern man musste, wie *Hales* angiebt, meist ein ganzes Internodium wegnehmen, um den Zweig wieder kräftig bluten zu machen. Dass die älteren Aeste diesem Uebelstande weniger unterworfen sind, als die jüngeren, und deshalb die tägliche Variation länger richtig angeben, wie solches schon von *Hales* beobachtet wurde, hat wohl hauptsächlich darin seinen Grund, dass sich in älteren Zweigen viel grössere Spiralröhren ausbilden als in jungen. Dies Undurchgängigwerden der Spiralröhren enthält den Grund, aus dem die Beobachtungen an den ersten elf Röhren mit dem 3 Mai abgebrochen sind, und an den übrigen vier nur einige Tage umfassen.

Nachdem wir nun so einen Umstand kennen gelernt haben, der zu sehr falschen Angaben über den Werth der täglchen Variation führen kann, betrachten wir die wahren Veränderungen desselben im Laufe der Zeit des Blutens. Diese Veränderungen lassen sich eintheilen in wesentliche oder constante, das heisst in solche, die mit der Vegetationsperiode des Weinstockes unmittelbar zusammenhängen, und also in allen Jahren dieselben bleiben müssen, und in accidentelle, welche von dem jedesmaligen [**193**] Wasserreichthum des Bodens und der Atmosphäre, und von der Temperatur abhängig

sind. Die constanten Veränderungen bestehen darin, dass der Werth der täglichen Variation vom Anfange der Zeit des Blutens bis zum Ende derselben fortwährend wächst, so dass der Unterschied zwischen täglichem Maximum und täglichem Minimum zuletzt einen Fuss Quecksilber und mehr beträgt, während er anfangs nur einige Linien betrug. Dies Wachsen ist langsam bis zur Zeit des jährlichen Maximums, das heisst bis zu der Zeit, in der die Knospen aufbrechen und die Blätter sich zu entwickeln beginnen; dann aber wird es plötzlich sehr rasch durch die reichliche Verdunstung, welche durch die jungen Blätter gesetzt wird. Diese ausserordentliche Zunahme der täglichen Variation gegen das Ende der Zeit des Blutens ist der Beobachtung von *Hales* und von *Meyen* entgangen, indem sie nur anführen, dass das Quecksilber nach und nach bis unter Null gefallen sei. Dies hat darin seinen Grund, dass beide zu der betreffenden Zeit keine neuen Röhren mehr aufsetzten, sondern nur an solchen beobachteten, die schon längere Zeit auf ihren Aesten gestanden hatten, und deshalb die tägliche Variation nicht mehr richtig angaben. Die zu dieser Zeit angestellten Beobachtungen zeigen zugleich, auf welche Weise das Bluten sein Ende erreicht. Man sieht nämlich, dass die Kraft, welche das Wasser aus der Erde in den Stock hineinhebt, keineswegs schon erlischt, sondern dass dieselbe gerade zu dieser Zeit sehr gross ist, dass aber so viel Saft für die Vegetation verwendet wird, und den Tag über so viel Wasser verdunstet, dass der Holzkörper in jeden 24 Stunden einen Verlust an Flüssigkeit erleidet, bis sich dieses Verhältniss so steigert, dass der Saft zu keiner Tageszeit mehr aus gekappten Aesten hervorquellen kann.

Ueber die accidentellen Veränderungen des Werthes der täglichen Variation lässt sich für jetzt nur sagen, dass [**194**] derselbe durch Regen und feuchte Luft verringert, durch trocknes Wetter vergrössert wird, wie dieses schon *Hales* beobachtete. Den Beweis dafür kann jeder Leser in der Vergleichung mit den meteorologischen Beobachtungen des betreffenden Zeitabschnittes finden; der Grund davon leuchtet aus dem Vorhergehenden ohne weiteres ein.

Ich brauche wohl nicht anzuführen, dass man über die Lage der täglichen Periode eben so wenig wie über die Grösse der Variation Röhren zu Rathe ziehen darf, die schon längere Zeit auf ihren Zweigen gestanden haben; denn in ihnen steigt das Quecksilber oft plötzlich, wenn es in den frisch aufgesetzten

schon anfängt zu fallen, weil Saft, Luft und Quecksilber in der Röhre durch die Sonnenhitze ausgedehnt werden, und wegen der mangelhaften Communication der wachsende Druck der Quecksilbersäule geraume Zeit braucht, um die Differenz wieder auszugleichen. Täuschungen der Art scheinen nicht ohne Antheil an den Angaben zu sein, welche uns von *Hales* über den verstärkenden Einfluss der Morgensonne auf die Druckkraft des Saftes überliefert sind. Die Zahl der Beobachtungen, welche ich im Laufe jedes Tages anstellen konnte, ist zu gering, als dass sich aus ihnen die Zeit des täglichen Minimums genau bestimmen liesse; doch lässt sich aus ihnen ersehen, dass dasselbe im Allgemeinen um so später eintritt, je später der Stock die Sonne bekommt, wie dieses schon von *Hales* mit grosser Genauigkeit beobachtet worden ist.

Wir kommen jetzt zu zwei Fragen, welche durch die früheren Beobachtungen nicht hinreichend entschieden sind, nämlich zu denen: Wie verhält sich die Kraft des Saftes in verschiedenen Höhen, und wie verhält sie sich, wenn man zu den Versuchen Zweige von verschiedenem Alter oder verschiedener Dicke benutzt?

Wir wollen zuvörderst die erste dieser beiden Fragen zu beantworten suchen.

[**195**] Betrachten wir die Beobachtungen, welche an den Röhren No. VI und VII, die in verschiedenen Höhen auf ein und demselben Stocke standen, gemacht worden sind, so zeigt es sich, dass bis zum 25. April Nachmittags 3 Uhr, von wo an die Bewegungen des Quecksilbers aus weiter oben erwähnten Gründen anfangen unregelmässig und unzuverlässig zu werden, No. VII immer 69 bis 74 Lin. mehr angab als No. VI. Da sich also die Curven, welche beide Quecksilberniveaus in den ersten Tagen beschrieben, so sehr dem Parallelismus nähern, dass man zwischen dem Gange beider einen inneren Zusammenhang vermuthen muss, so wäre es interessant ihren mittleren Abstand von einander genau zu kennen, um ihn mit der Erhebung des Nullpunktes beider Röhren über der Erde zu vergleichen.

Die Zahl der Beobachtungen ist viel zu gering, um aus ihnen den wahren Gang der Curven mit einiger Sicherheit zu bestimmen, und ihren mittleren Abstand nach der üblichen Methode zu berechnen; ich habe mich deshalb begnügt unmittelbar aus den Beobachtungen die mittlere Differenz nach der Formel

$$\delta = \frac{t(d + d_1) + t_1(d_1 + d_2) \ldots t_n(d_n + d_{(n+1)})}{2(t + t_1 + t_2 \cdots + t_n)}$$

zu berechnen, indem ich mit d; d_1; d_2, und so fort die beobachteten Differenzen bezeichnete, mit t; t_1; t_2 die Zeitabschnitte, welche zwischen je zwei Beobachtungen lagen, und mit δ endlich die gesuchte mittlere Differenz. Ich fand dieselbe $= 70''',8$. Wenn nun der Saft dieser beiden Aeste im Innern des Stockes frei communicirte, so musste der Druck einer Saftsäule, die so hoch war, wie der Nullpunkt von No. VI über dem von No. VII lag, dem einer Quecksilbersäule von $70''',8$ Höhe entsprechen. Der Saft wog zu dieser Zeit 1,0008, die Höhe der Säule war 6 Fuss 8 Zoll, sie entsprach also $70''',6$ Quecksilber. Man darf jedoch nicht hoffen, diese ausserordentlich genaue Uebereinstimmung überall wiederzufinden; [**196**] denn ich weiss sehr wohl, dass sie hier zum Theil auf Rechnung des Zufalls kommt, da das Mittel von 70,8 nach einer an und für sich unvollkommenen Methode aus Grössen berechnet wurde, unter denen die grösste von der kleinsten um 5 Ganze verschieden ist.

Betrachten wir nun die Röhren No. VIII und IX, so wissen wir, dass der Nullpunkt von VIII $4^1/_4$ Fuss über dem von IX stand, der Saft wog am 27. April, als die Röhren aufgesetzt wurden, in dem zunächst benachbarten Stocke 1,0009; berechnet man also den Druck der Saftsäule zwischen beiden Röhren, so findet man ihn = 45 Lin. Quecksilber, und in der That giebt auch die Röhre No. IX am Morgen des 28. April 44, am Mittag 46 Linien Quecksilber mehr an als No. VIII.

Ich muss hinzufügen, dass ich mich in diesem Falle direct überzeugt habe, dass der Saft nicht nur der beiden Aeste, auf denen die Röhren standen, communicirte, sondern dass er auch mit dem des Nachbarstockes durch eine unter der Erde fortkriechende Wurzel in Verbindung stand; denn als ich die Röhren aufgesetzt hatte, stieg in ihnen das Quecksilber sogleich sehr lebhaft, als ich aber von dem Nachbarstocke einen zweijährigen Trieb abgeschnitten hatte, um Saft für die Bestimmung des specifischen Gewichts zu sammeln, fing das Quecksilber in beiden Röhren an zu fallen, und war in beiden am Abend bis auf Null zurückgekommen. Hierauf verband ich die Wunde des Nachbarstockes mit einem Kautschuckrohr, in dem ein Stück eines dicken Glasstabes befestigt war, das Quecksilber fing in beiden Röhren wieder an zu steigen, und

zeigte am andern Morgen die in der Tabelle verzeichneten Höhen. Ich kann also mit Sicherheit behaupten, dass das spätere Abweichen vom Parallelismus, welches die Curven von VIII und IX zeigen, nur in der bekannten Verstopfung der Spiralgefässe seinen Grund hat. Auch wird man mich nicht unmotivirter Conjecturen über fremde Versuche beschuldigen, wenn ich es [**197**] wahrscheinlich finde, dass *Hales* in dem Experimente, welches ich als zweites angeführt habe, nicht, wie er glaubte, die Wirkung der Wurzel und des Stammes allein, sondern zugleich die Wirkung eines ganzen benachbarten Stockes beobachtete. Möglich ist dieses, weil *Hales* ebenfalls an Spalierstöcken beobachtete, und nicht angiebt, dass er sich auf irgend eine Weise von der Isolation seines Stockes überzeugt habe, wahrscheinlich wird es dadurch, dass er am 11., 14. und 16. April, nachdem die Röhre schon 5, 8 und 10 Tage auf ihrem Stocke gestanden hatte, das Quecksilber durch Verdunstung um $6^1/_2$ und $6^3/_4$ Zoll fallen sah. Ja es ist unmöglich, dieses Fallen der Verdunstung eines $2^3/_4$ Fuss langen, alten, astlosen Stumpfes zuzuschreiben, wenn man liest, dass der Saft in der Röhre auf dem andern Stamme von 7 Zoll Länge gar kein durch Verdunstung bedingtes tägliches Sinken zeigte, sondern gerade zur Zeit der grössten Tageswärme am lebhaftesten stieg, und dass die betreffenden Differenzen von $6^1/_2$ und $6^3/_4$ Zoll 2, 4 und 7 Tage vor dem jährlichen Maximum beobachtet wurden, also keineswegs zu einer Zeit, wo die täglichen Variationen schon sehr gross sind.

Die Röhren No. XII und XIII, die auf zwei benachbarten Stöcken standen, zeigten ebenfalls, wie oben bemerkt ist, schon beim Aufsetzen, dass der Saft beider Stöcke communicirte, und am Morgen des 4. Mai zeigten die Quecksilbersäulen ihre richtige Differenz von 29‴, welche der Höhendifferenz ihrer Nullpunkte von $2^3/_4$ Fuss, das Gewicht des Saftes zu 1,001 berechnet, entspricht. Am Nachmittage 3 Uhr war die Differenz nur 24‴, weil die durch die verschiedene Verdunstung beider Stöcke gesetzte Unregelmässigkeit nicht sogleich wieder ausgeglichen wurde. Am andern Morgen war die Differenz wieder 29‴, von da an aber wird die Beweglichkeit der Quecksilbersäulen mangelhaft und der Gang der Curven unregelmässig.

[**198**] Betrachten wir dagegen die Röhren No. X und XI, welche auf einem und demselben Stocke standen, so zeigt sich in dem Gange beider Quecksilberstände von vorn herein nur eine geringe Uebereinstimmung, und die Differenz derselben

ist gleich am ersten Tage 6″ 9‴ und 5″ 11‴, welches keineswegs der Höhendifferenz der Nullpunkte von $2^1/_2$ Fuss entspricht, sondern für sie viel zu bedeutend ist. Ich lege jedoch auf die mit diesen Röhren angestellten Versuche kein besonderes Gewicht, da der Kautschuckverschluss von No. X undicht wurde und ihm durch einen neuen Verband nachgeholfen werden musste. Entschieden habe ich dagegen den entgegengesetzten Fall einer zu kleinen Differenz an den Röhren IV und V beobachtet, die sich ebenfalls auf ein und demselben Stocke $4^1/_4$ Fuss über einander befanden, und in denen die Differenz des Druckes am ersten Tage $1^1/_3$ Zoll nicht übersteigt. In diesen Röhren glich sich also keineswegs der Druck nach den Gesetzen der Hydrostatik aus.

Wir haben uns nunmehr zunächst die Frage zu beantworten: Wie geht es zu, dass der Saft zweier Aeste eines und desselben Stockes bisweilen nicht so frei communicirt, dass sich der Druck in denselben nach den hydrostatischen Gesetzen ausgleicht, während dieses häufig nicht nur bei Aesten eines und desselben Stockes, sondern sogar bei Aesten zweier verschiedener Stöcke, die eine gemeinschaftliche Wurzel haben, der Fall ist? Hierüber giebt die anatomische Untersuchung des Holzkörpers vollkommenen Aufschluss. Betrachten wir nämlich den Querschnitt des trocknen Holzkörpers des Rebstockes mit blossen Augen oder unter der Lupe, so sehen wir dass ihn helle radiale Streifen durchsetzen, die an der Peripherie anfangen und allmählich immer feiner werdend, theils an den Grenzen der Jahresringe verschwinden, theils das Mark erreichen und sich um dasselbe in einem weisslichen Ring vereinigen. Diese radialen Streifen sind bekanntlich die Querschnitte der sogenannten [199] Markstrahlen, das heisst der horizontal und zugleich radial gelagerten Zellen des Holzkörpers; der weissliche Ring ist der Querschnitt der Markscheide, das heisst der mit Amylum gefüllten, mehr oder weniger in der Längsaxe verlängerten Zellen, welche das abgestorbene Mark der Internodien zunächst umgeben, und in den Knoten unmittelbar in die polygonalen, ebenfalls mit Amylum gefüllten Markzellen derselben übergehen. Diejenigen Markstrahlen, welche das Mark erreichen, theilen den Holzkörper in eben so viele Fächer, welche ihrerseits wieder durch die Markstrahlen der späteren Jahresringe in Unterabtheilungen getheilt werden. In den Markstrahlen finden sich niemals Spiralröhren, sondern diese liegen sämmtlich mit den vertical

gelagerten Zellen in den soeben beschriebenen Fächern, und in diesen oft so dicht neben einander, dass sie nur durch ein einfaches Gitterwerk, von queren, etwas schräg verlaufenden Spiralfasern getrennt werden, die unter sich durch eine so dünne Membran verbunden sind, dass es in den älteren Theilen des Holzes oft schwer ist, sich von ihrer Existenz zu überzeugen. Fragen wir uns nun, welche Aufklärung uns diese Anordnung der Spiralröhren über die mehr oder weniger vollkommene Ausgleichung des hydrostatischen Druckes in zwei auf verschiedene Aeste ein und desselben Stockes aufgesetzten Röhren liefert, so ist es klar, dass dieselbe um so leichter von Statten gehen muss, je näher die Spiralröhren beider Aeste, oder wenn man will ihre mehr oder weniger directen Fortsetzungen[1]) [200] im Stamme und dem Wurzelstocke neben

---

[1]) Die sich neu bildenden Spiralröhren verbinden sich bekanntlich niemals mit schon vorhandenen, sondern die Gefässe jedes Jahresringes verlaufen vollkommen isolirt von denen des vorhergehenden und denen des zunächst darauf folgenden, ja die longitudinale Verbindung zwischen den Spiralröhren eines und desselben Jahresringes ist keineswegs im Einzelnen immer vollkommen. Von der Meinung der älteren Phytotomen, dass jede Spiralröhre einzeln für sich den ganzen Stock von einer oberen Extremität bis zu einer unteren durchsetzt, ist man ziemlich allgemein zurückgekommen, und diese [**200**] Ansicht wird schon durch das Missverhältniss in der Zahl der Spiralröhren eines und desselben Jahresringes in Stamm, Aesten und Blättern widerlegt. Man kann sich übrigens durch die mikroskopische Untersuchung leicht überzeugen, dass es in den Knoten unter den die Röhren constituirenden Zellen häufig an irgend einer Stelle nicht zur vollkommenen Verwachsung mit Schwinden der Querscheidewand kommt, indem dieselben nicht genau senkrecht über einander liegen. Die Hindernisse, welche auf diesem Wege dem hydrostatischen Drucke entgegengesetzt werden, müssen indessen nicht sehr bedeutend sein, da derselbe, wie mir meine Versuche gezeigt haben, sich bisweilen durch eine grosse Menge von Knoten hierdurch sehr rasch und vollkommen ausgleicht. Für die Leichtigkeit der Bewegung des Saftes parallel der Axe spricht, ausser vielen Experimenten über Tränkung der Hölzer und Durchgang der Flüssigkeiten durch die Spiralröhren, ein bekannter Versuch von *Dutrochet*. Wenn man nämlich zur Zeit des Blutens einen, mehrere Internodien langen Stab von einem Weinstocke abschneidet und ihn beugt, so sieht man sogleich den Saft aus beiden Schnittflächen an der der Concavität entsprechenden Seite aus den Spiralröhren hervorquellen. Wahrscheinlich werden die Folgen der Discontinuität einzelner Spiralröhren durch die zunächst benachbarten ausgeglichen, indem bei der sehr grossen Länge, in der diese Röhren neben einander verlaufen, ein geringer Druck hinreichend ist, um eine in Bezug auf ihren Querschnitt sehr bedeutende Saftmenge

einander verlaufen, und je weniger sie durch Holzzellen und besonders durch Markstrahlen von einander getrennt sind, was wiederum von ihrer Stellung zur Axe des Stockes abhängt. Man sieht also ein, dass der Quecksilberstand in einer aufgesetzten Röhre der mittelbare Ausdruck für die Kraft des Saftes in dem ganzen Stocke ist, und der unmittelbare für die Kraft des Saftes einer Partie des Stockes, welche einem bestimmten Theile des Querschnitts des Stammes entspricht. — Hieraus ergiebt sich zugleich [201] die Lösung unserer anderen Frage, nämlich der, ob das Alter und die Dicke der angewendeten Aeste einen directen Einfluss auf den Stand des Quecksilbers üben, denn es leuchtet ohne weitere Auseinandersetzung ein, dass dies nicht der Fall sein kann, womit auch die Versuche von *Hales* und von mir, bei denen überall genau die Durchmesser der Zweige angegeben sind, vollkommen übereinstimmen.

Wir haben nun in dem Bisherigen gesehen, dass sich zuerst der ganze Holzkörper des Weinstocks, mit Ausnahme der Spiralröhren, mit Flüssigkeit füllt, und dass sich zuletzt auch diese anfüllen; wir haben aber nicht gesehen, dass der Saft in ihnen eine eigenthümliche Steigkraft oder eine Bewegung nach oben zeigt, sondern nur, dass er in ihnen unter einen, nach und nach immer beträchtlicher werdenden Druck gesetzt wird. Denn wenn man einen Ast abschneidet, so dringt in ihm allerdings der Saft mit einer beträchtlichen Kraft aus den Spiralröhren hervor, und zeigt also dann eine Bewegung nach oben, wenigstens in dem abgeschnittenen Aste; es ist aber längst bekannt, dass, wenn man eine Wurzel abschneidet, der Saft in derselben Weise aus der Wurzel hervorgetrieben wird, dass er hier also eine Bewegung nach unten zeigt. Ja meine Versuche haben sogar bewiesen, dass die Kraft, mit der der Saft hervordringt, nach abwärts von dem Stock *zu*-, nach aufwärts *ab*nimmt, und zwar nach dem einfachen Gesetze des Wasserdruckes. Es fragt sich nun: Wie ist man zu der Ansicht gekommen, der Saft steige während der Zeit des Blutens in den Spiralröhren? Man denke sich ein ver-

aus einer Röhre in die andere zu pressen. Andere Spiralröhren gehen in der That ohne Unterbrechung durch die Knoten hindurch, da man Haare durch sie von Zweig zu Nebenzweig führen kann. (Vergleiche *Gaudichaud: Note relativement à quelques points de la dernière communication de M. le Docteur Boucherie sur la vascularité des végétaux. Comptes rendus*, 22. *Febr. 1841.*)

tical stehendes Rohr, das oben und unten mit einem Hahn verschlossen ist. Von diesem gehe zwischen beiden Hähnen ein horizontales Rohr ab, das es mit einem Gefäss voll Wasser in Verbindung setzt, welches höher ist als das verticale Rohr. Oeffnet man nun den oberen Hahn, so läuft natürlich Wasser oben aus der Röhre heraus, und man [202] schliesst, dass das Wasser, auch als der Hahn noch geschlossen war, fortwährend in der Röhre gestiegen sei. — Diese Schlussfolgerung erscheint gewiss nicht sehr sinnreich, und doch war es die einer Reihe von Physiologen, welche glaubten, der Saft steige zur Zeit des Blutens in den Spiralröhren, weil er in angeschnittenen Aesten aus denselben hervorquoll. Ja diese Naturforscher öffneten sogar den unteren Hahn unseres Rohres, indem sie die Wurzel des Weinstocks abschnitten, und sahen das Wasser auch unten herauslaufen, aber dies vermochte nicht ihre Ueberzeugung zu beeinträchtigen. Schon die morphologische Betrachtung, und die sonst in der Physiologie so beliebte Methode der Analogien und der Probabilität hätte über dies seltsame Missverständniss aufklären müssen. Die zur Zeit des Blutens vorhandenen Spiralröhren gehören nämlich sämmtlich den früheren Jahresringen an, sie führen nicht zu den Knospen, sondern die älteren von ihnen endigen blind im Holze, die des zunächst verflossenen Jahres in den Narben abgefallener Blätter, Fruchtstiele und Ranken. Die Anfänge der Spiralröhren des laufenden Jahres bilden sich in den noch in den Knospen verhüllten jungen Trieben, sie treten nie mit den alten Spiralröhren in Verbindung, sondern verbreiten sich am Ende der Zeit des Blutens, wenn sich die Knospe erschliesst und der junge Trieb anfängt sich zu entwickeln, mit ausserordentlicher Schnelligkeit in allen Theilen des Stockes über den jungen Jahresring, der bis dahin noch gar keine Spiralgefässe hatte. Bringt man hierzu das doch ziemlich allgemein bekannte Factum, dass sich die Spiralröhren gerade zu allerletzt mit Saft füllen, so ist es in der That schwer einzusehen, wie die Mehrzahl der Gelehrten diesen alten verbrauchten Organen früherer Jahrgänge die wichtige Rolle zugetheilt hat, dem Stocke die reichliche Saftmenge zuzuführen, welche er vor der Entwicklung der jungen Triebe in sich aufnimmt.

Da wir nun also wissen, dass der Saft aus den Zellen [203] in die Spiralröhren übergeht, und zwar erst nachdem sich sämmtliche Zellen des Stockes, welche überhaupt noch

Saft aufnehmen, gefüllt haben, so handelt es sich darum, die Frage zu entscheiden, ob die Kraft, welche diesen Uebergang des Saftes aus den Zellen in die Spiralröhren bewirkt, den ersteren inhärirt oder den letzteren, oder mit anderen Worten, ob die Spiralröhren den Saft aus den Zellen aufsaugen, oder ob derselbe aus den Zellen in die Spiralröhren gepresst wird. Die Spiralgefässe enthalten während des Winters nichts als Luft, sie enthalten keine löslichen Substanzen, in ihnen wird niemals Amylon abgelagert, es können sich also auch die Stoffe, in welche dasselbe in den Zellen verwandelt wird, nicht in ihnen bilden. Die einzige ihnen inhärirende Kraft, durch welche sie sich mit Saft füllen könnten, ist die Capillarattraction. Der Durchmesser der Spiralröhren ist immer grösser, oft um das Fünf-, Sechs- und Mehrfache, als der sämmtlicher angrenzender Zellen; wer also meint, dass die Spiralröhren den Zellen das Wasser durch Capillarattraction entziehen, der verlangt nichts anderes als der, welcher behauptet, dass, wenn man in ein U-förmig umgebogenes Capillarrohr mit ungleich weiten Schenkeln Wasser giesst, dieses in dem weiteren Schenkel höher stehe als in dem engeren. Zu bemerken ist überdies, dass die Zellen ihrerseits nicht mit einer freien Wassermasse in Berührung stehen, sondern nur mit der Flüssigkeit, welche in den capillaren Räumen des Bodens zwischen den einzelnen Erdpartikeln enthalten ist. Sollte etwa Jemand den Einwand machen, dass das durch Capillarattraction in die darüber liegenden Erdschichten gehobene Unterwasser auch noch durch Capillarattraction in die Zellen und Spiralgefässe dringen könne, und sich hierbei wie Wasser verhalten, welches in einem capillaren Rohre steigt, das an einzelnen Stellen weiter, an anderen enger ist, so mag sich derselbe nur fragen: warum das Wasser denn nicht auch in die Spiralröhren [204] abgestorbener Weinstöcke eindringt? Diese Widerlegung ist allerdings wenig wissenschaftlich, sie wird aber dadurch entschuldigt, dass eine wissenschaftlichere auf die subjective Ueberzeugung dessen, der einen solchen Einwand macht, wahrscheinlich von geringerem Einfluss sein würde, und diese ist es, auf welche es hier allein ankommen kann. Schliesslich habe ich noch zu bemerken, dass die meisten Spiralröhren des Weinstockes so weit sind, dass das Wasser in ihnen nur wenige Zolle durch Capillarattraction steigen würde, wenn man sie auch mit offenen Enden unter einen Wasserspiegel tauchte.

Da wir nun gesehen haben, dass der Uebergang des Saftes in die Spiralröhren in keiner Weise durch die Capillarattraction erklärt werden kann, und denselben keine andere Kraft als diese inhärirt, so sind wir gezwungen, die Ursache dieser Bewegung ausserhalb derselben zu suchen. Wir wissen, dass von den Zellen des Holzkörpers die der Knoten fast sämmtlich, und in den Internodien namentlich die horizontal gelagerten, ferner die der Markscheide und noch ein grosser Theil der übrigen vertical gelagerten, während des Winters mit Amylon, einer im Wasser unlöslichen Substanz, angefüllt sind. Kurz vor und während der Zeit des Blutens verschwindet ein Theil dieses Amylons, und an seine Stelle treten Stoffe, welche theils im Wasser aufquellen, theils mit ihm unechte oder echte Lösungen bilden, und alle die Fähigkeit haben, eine bedeutende Wassermenge mit grosser Kraft an sich zu ziehen. Wir werden in der Folge in einer andern Abhandlung näher betrachten, wie sich die Zellen vermittelst dieser löslichen und aufquellenden Substanzen zuerst strotzend mit Wasser anfüllen, und wie dann, indem sie immer noch mehr Wasser anziehen, das was sie in ihrer Höhle nicht mehr beherbergen können, mit einem Theile der gelösten Substanzen als Saft in die benachbarten Spiralröhren hineingedrängt wird, und werden näher die Art betrachten, auf welche mit [205] anscheinend geringen Mitteln die bedeutende Druckkraft aufgebracht wird, welche die aufgesetzten Röhren anzeigen. Wir wollen uns hier nur noch mit einigen Fragen beschäftigen, welche sich uns zunächst bei unseren am lebenden Weinstocke gemachten Versuchen aufdrängen. Zuerst fragt es sich: wo bleibt die Luft, welche in den Spiralröhren enthalten war? Es ist nicht zu bezweifeln, dass ein grosser Theil derselben von der umgebenden Flüssigkeit nach und nach absorbirt wird, auf der andern Seite ist es aber auch eben so wahrscheinlich, dass bei dem wachsenden Drucke ein Theil durch die Blattstielnarben und die Schnittflächen herausgedrängt wird, denn die die Spiralröhren verschliessende Masse bildet, wenn sie nicht durchnässt ist, für Gase keineswegs einen hermetischen Verschluss, sondern die Luft drang in *Stephan Hales* Versuchen schon unter einem Druck von einigen Zollen Quecksilber mit Leichtigkeit durch sie hindurch (*l. c. Cap. II* und *V*)[1]).

---

[1]) Da die vernarbten Spiralröhren auch bei bedeutendem Drucke kein Wasser durchlassen, so muss man vermuthen, dass die

Zu bemerken ist noch das schon von *Hales* beobachtete Aufsteigen von Luftblasen in der über der Schnittfläche stehenden Saftsäule, welches man besonders bei warmem Wetter und wenn die Sonne auf den Stock scheint, beobachtet. Es ist möglich, dass diese Luft von dem von allen Seiten eindringenden Saft in den Spiralröhren mechanisch eingeschlossen war; es ist aber auch eben so möglich, dass sie von dem Safte absorbirt war; und durch die erhöhte Temperatur frei wurde.

Zweitens fragt es sich, wie geht es zu, dass der Saft in angeschnittenen Aesten so vorzugsweise aus den Spiralröhren, und nicht eben sowohl aus den Zellen hervordringt, da doch die Kraft, welche ihn hervortreibt, innerhalb der Zellen ihren Sitz hat? Diese Frage löst [**206**] sich aber sogleich von selbst, wenn man bedenkt, wie ausserordentlich gross die Zahl der Zellen ist, welche ihren Ueberschuss an Saft unmittelbar in ein Spiralgefäss ergiessen. Wenn nämlich das Bluten noch so gering ist, dass die aus den durchschnittenen Holzzellen hervordringende Flüssigkeitsmenge unmerklich ist, so fliesst der Saft in den durchschnittenen Spiralröhren doch zusehens über, weil die Oberfläche, welche sie dem eindringenden Safte darbieten, im Verhältniss zu ihrem Querschnitte sehr gross ist. Ist der Druck des Saftes schon etwas stärker, so wird alsobald die ganze Schnittfläche überfluthet, so dass man nicht mehr beobachten kann, woher der Saft kommt.

Richten wir nun endlich die Frage an uns, was wir von der Bewegung des Saftes in den Spiralröhren zur Zeit des Blutens wissen, so fällt die aufrichtige Antwort freilich sehr unbefriedigend aus. Zuvörderst wissen wir, dass die unteren Partien der Stöcke im Allgemeinen früher bluten als die oberen. Dies lehrt nun aber keineswegs, dass der Saft zuerst unten durch die Wurzeln in die Spiralröhre gelangt, sondern er kann eben so gut zuerst in den Aesten in sie ergossen werden, und sich nach den Gesetzen der Schwere senken; sind dann die Spiralröhren auf diese Weise bis zu einer gewissen Höhe gefüllt, so muss ein unterhalb derselben abgeschnittener Ast bluten. Sind die Spiralröhren einmal völlig mit Flüssigkeit gefüllt, so ist dieses bei der Durchgängigkeit ihrer Wände keineswegs ein Grund, dass die Bewegungen des

---

sie verstopfende Substanz in Wasser aufquillt, und dadurch der Verschluss vollkommen wird.

Saftes in denselben aufhören; welcher Art diese Bewegungen aber sind, lässt sich vorläufig schwer entscheiden. Von einer speciellen Verfolgung der Bewegungen des Saftes in den einzelnen Spiralröhren kann gar keine Rede sein. Die Verschiedenheit der Spiralröhren unter sich, an Grösse und Structur, die Verschiedenartigkeit der Nachbargebilde, die sie umgeben, und endlich der Mangel aller Anhaltspunkte machen diese Aufgabe so [**207**] schwierig, dass die Analyse der Saftbewegung in den Zellen der Charen, die bis jetzt noch Keinem gelang, im Vergleich mit ihr, als leicht und einfach erscheinen muss. Wir dürfen uns daher nur die Frage stellen: Ist die Bewegung des Saftes in einem bestimmten Systeme von Spiralröhren, welche als unter sich vereinigt und unabhängig von den übrigen betrachtet werden, während der Zeit des Blutens im Allgemeinen eine aufsteigende oder eine absteigende, oder ist sie bisweilen eine aufsteigende, bisweilen eine absteigende, und zu welchen Zeiten ist sie auf-, zu welchen absteigend? Denken wir uns zuvörderst, dass die Kraft, mit der der Saft in die Spiralröhren hineingepresst wird, in jeder Höhe des Stockes ausgedrückt werde durch die Gleichung:

$$y = ax + b = z,$$

in der b eine Constante für den actuellen Saftreichthum des Stockes, a das specifische Gewicht des Saftes und x die Differenz zwischen der Erhebung des betrachteten Punktes und der des höchsten Punktes der Spiralröhren über der Erde bedeutet, das heisst, stellen wir uns vor, dass die Kraft y nach aufwärts in der Weise abnimmt, dass sie dem Gegendrucke (den ich mit z bezeichnet habe) des in den Spiralröhren befindlichen Saftes überall das Gleichgewicht hält, so wird sich dieser weder nach oben noch nach unten bewegen. Denken wir uns dagegen y sei nicht $= ax + b = z$, sondern sei allgemein ausgedrückt unter der Form $F_{(x)}$, so wird die Curve, deren Gleichung ist $y = F_{(x)}$, die gerade Linie, deren Gleichung ist $z = ax + b$, in einem oder in mehreren Punkten schneiden. Kennt man nun die Curve $y = F_{(x)}$, so kann man für jede Höhe (h) erfahren, ob sich in derselben der Saft in den betrachteten Spiralröhren nach aufwärts, nach abwärts oder gar nicht bewegt. Ist nämlich, wenn wir mit q den obersten, mit p den untersten Punkt der Spiralröhren bezeichnen, der Werth von:

[208]
$$\int_h^p (y - z)dx - \int_q^h (y - z)dx$$

positiv, so bewegt sich der Saft in der Höhe h nach aufwärts, ist der Werth Null, so steht er still, ist der Werth negativ, so bewegt er sich nach abwärts. Es ist klar, dass, wenn es für beide Linien nur einen Intersectionspunkt giebt, die Bewegung in allen Höhen nur eine aufsteigende oder nur eine absteigende sein kann. Es ist ferner klar, dass durch die tägliche Verdunstung zunächst der Werth von y in den oberen Theilen des Stockes beeinträchtigt wird, dass also, falls der Saft in den Spiralröhren zu verschiedenen Tageszeiten auf- und absteigt, das tägliche Minimum in die Periode des Aufsteigens, das Maximum in die Periode des Absteigens fällt, das heisst, dass der Saft gerade zu der Zeit am meisten Ursache hat, sich in den Spiralröhren nach abwärts zu bewegen, in welcher er nach der früheren Theorie in ihnen am stärksten steigen sollte, und in der That liegen schon jetzt Facta vor, welche es überaus wahrscheinlich machen, dass der Saft gerade zur Zeit des jährlichen Maximums, das heisst zur Zeit des grössten aller täglichen Maxima, in den Spiralröhren *absteigt*, und man muss vermuthen, dass dieses während des grössten Theiles der Zeit des Blutens der Fall ist, und das Aufsteigen auf einige kurze Perioden einer sehr überwiegenden Verdunstung eingeschränkt werden muss. Ich habe nämlich schliesslich noch eines merkwürdigen Resultates aus Beobachtungen von *Hales* und von mir zu erwähnen, zu welchem wir bis jetzt den Schlüssel noch nicht kennen, an das sich aber wiederum verschiedene Fragen knüpfen, welche verdienen das Interesse der Physiologen in Anspruch zu nehmen. Wir besitzen nämlich vier Beobachtungen von jährlichen Maximis, bei denen die Erhebung der Schnittfläche über der Erde und zugleich die Höhe des ganzen Stockes bemerkt ist, so dass man die Differenz zwischen dieser und dem idealen Niveau [209] des Saftes, welche nach den Notationen unserer vorigen Betrachtungen durch $\frac{b}{a}$ repräsentirt werden würde, zur Zeit des jährlichen Maximums berechnen kann.

Diese Versuche sind:

Erstens das von mir als erstes angeführte Experiment

von *Hales*[1]), bei dem die Erhebung der Schnittfläche, und zugleich die des ganzen Stockes oder vielmehr Stumpfes über der Erde 7 englische Zoll betrug. In aufgesetzten Röhren stieg der Saft noch 21 englische Fuss oder 237 Par. Zoll. Dies war also die Differenz zwischen der Höhe des Stockes und dem Niveau des Saftes.

Zweitens war in dem von mir als dritten aufgeführten Experiment von *Hales* der Stock 20 englische Fuss hoch; ein Quecksilberrohr dicht über der Erde aufgesetzt, zeigte als Maximum 38 englische Zoll Quecksilber, dies entspricht, das Gewicht des Saftes zu 1,001, wie ich es zur Zeit der Maxima fand, berechnet, einer Saftsäule von 485 Par. Zoll, es bleiben also für die Differenz 259 Par. Zoll.

Drittens stand der Nullpunkt meines Rohres No. XI dreissig Par. Zoll über der Erde; der Stock war, wie alle Stöcke an der Wand gegen Süden, 9 Fuss hoch, das Maximum, welches das Rohr angab, war 24″ Quecksilber oder 326″ Saft, es bleiben also für die Differenz 248 Par. Zoll.

[**210**] Viertens stand mein Rohr No. XII 2 Fuss über der Erde, der Stock war ebenfalls 9 Fuss hoch, das Rohr gab als Maximum 24″3‴ Quecksilber oder 329″ Saft an, es bleiben also für die Differenz 245″.

Es ist schon an sich merkwürdig, dass sich das ideale Niveau des Saftes 20 Fuss und darüber über die höchsten Punkte der untersuchten Weinstöcke erhob; noch auffallender ist es aber, dass sich dieses Verhältniss gerade in den vier einzigen vergleichbaren Versuchen, welche wir besitzen, so wiederholt, dass der Unterschied zwischen grösstem und kleinstem Werth nur 22 Zoll beträgt. Es ist möglich, dass die seltsame Uebereinstimmung dieser vier Beobachtungen auf einem Zufall beruht; es ist aber auch möglich, dass derselben ein Gesetz zum Grunde liegt, welches über die Mechanik der Saftbewegung während der Zeit des Blutens ein seltenes Licht

---

[1]) Ich muss bemerken, dass die von *Hales* angegebenen Maxima in keinem Falle zu gross, vielleicht aber um etwas zu klein sind, da man nicht weiss, wie lange die Röhren schon aufgesetzt waren, als die Maxima beobachtet wurden. Ueberdies bemerkt *Hales*, dass bei seinem ersten Versuche die Verbindungsstelle einige Male undicht geworden sei, was jedoch von geringerem Einfluss auf das Maximum ist als *Hales* glaubt, da der Stock, wenn die Communication an der Schnittfläche noch frei ist, den Saft bald wieder ersetzt. In der That führt auch *Hales* an, dass nach dem Verkitten der Saft wieder sehr rasch gestiegen sei.

verbreiten kann. Dieser Zweifel ist es, welcher mich getrieben hat, die vorliegenden Versuche als einen Theil einer grösseren, noch unvollendeten Arbeit frühzeitig zu veröffentlichen, indem ich hoffe, die Pflanzenphysiologen, welche von jeher ihre Wissenschaft mit so grossem Eifer angebaut haben, für Versuche auf einem Felde zu gewinnen, das für sie eben so wichtig sein muss, wie dem Zoophysiologen die Statik und Mechanik der Lymphe und des Blutes. Die Zeit für diese Versuche ist beschränkt auf einen kurzen Abschnitt jedes Jahres, und numerische Resultate, wie sie hier verlangt werden, können nur Werth haben, wenn sie in grösserer Menge vorliegen; es sind daher die vereinten Kräfte Mehrerer nöthig, um Licht über ein bis jetzt noch dunkles Capitel der Wissenschaft zu verbreiten. Ich weiss sehr wohl, wie viele auf experimentellem Wege zu entscheidende Fragen meine Arbeit noch ungelöst lässt, und es kann nicht undankbar erscheinen, sich mit denselben zu beschäftigen, nachdem einmal der Anfang gemacht ist, das Feld der Untersuchung planmässig anzubauen.

[211) Zuerst wird zu untersuchen sein, wie sich im Allgemeinen Stöcke von verschiedener Grösse und verschiedenem Alter verhalten; zweitens wie sich Stöcke an verschiedenen Standörtern verhalten, und in wie weit man durch fleissiges Begiessen die Druckkraft des Saftes steigern kann; drittens wie sich zwei Stöcke von gleicher Grösse und gleichem Alter, und unter übrigens gleichen Bedingungen verhalten, wenn man den einen bis auf einen Ast, auf den man das Quecksilberrohr setzt, unversehrt lässt, den andern aber in einer gewissen Höhe über der Erde abschneidet. Ich halte es jedoch nicht für zweckmässig, zu diesem letzten Versuche nur einen Stumpf ohne alle Augen zurückzubehalten, da man noch nicht weiss, von welchem Einflusse der Vegetationsprocess in den Knospen auf die Metamorphose des Amylums in dem ganzen Stocke ist. Viertens wäre endlich noch zu untersuchen, ob und in wiefern die Kraft des Saftes dadurch verändert wird, dass man die Höhe des Stockes verändert, ohne seine Masse zu beeinträchtigen, indem man seine Zweige aufrichtet, wenn sie horizontal gezogen waren, oder herunterbeugt, wenn sie vertical gezogen waren.

Zu allen diesen Versuchen müssen Stöcke angewendet werden, von denen man gewiss weiss, dass sie keine Wurzelverbindung mit anderen haben. Man muss ferner nicht, wie

Hales und grösstentheils auch ich, bei diesen Versuchen an Röhren beobachten, die schon längere Zeit auf dem Stocke gestanden haben, sondern man thut am besten, die Röhren immer gegen Abend aufzusetzen, vom andern Morgen an einige Tage an ihnen zu beobachten, und sie dann, nachdem die alten Wunden sorgfältig verbunden sind, durch neue, auf anderen Aesten befestigte zu ersetzen.

Dies sind mit den Anweisungen, welche ich oben über das Befestigen der Röhren gegeben habe, die wenigen Andeutungen, welche ich denjenigen Gelehrten, [**212**] welche sich mit diesen Versuchen beschäftigen wollen, überliefern kann, und ich hoffe im künftigen Jahre durch die wissenschaftlichen Blätter zu erfahren, dass ich nicht umsonst die Unterstützung fremder Naturforscher, besonders der glücklichen Bewohner der Weinländer, zur Lösung wichtiger und interessanter Probleme angerufen habe.

Tabelle zur S. **189** gehörig. (S. 13.)

Tag	Stunde	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
		In Pariser Linien.							
Apr. 18	6 A.	52	81	0					
19	10 M.	52	84	12					
	1	50	84	0					
	3	57	102	15					
	6	57	105	24					
20	7	88	132	58	45	61			
	10 1/2	93	141	66	45	66			
	1	84	126	48	42	60			
	4	87	129	48	45	63			
	7 1/2	90	126	54	48	66			
21	5 1/2	103	131	72	61	77			
	10	84	153	45	54	66			
	12	81	141	27	36	54			
	5	102	135	63	42	69			
	7	111	132	78	48	75			
22	7	123	131	109	72	96			
	11	108	144	99	84	87			
	1	99	138	78	75	78			

Tag	Stunde	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Apr.		In Pariser Linien							
22	4	108	138	81	75	81			
	6	114	135	87	72	81			
23	$7^1/_4$	108	136	136	70	97			
	11	144	135	111	72	105			
	1	141	138	108	75	105			
	3	138	135	108	75	105			
	6	135	135	102	75	105	26	99	
24	7	152	131	105	70	112	56	130	
	10	170	147	118	88	127	53	125	
	1	138	144	99	88	120	17	88	
	5	113	129	85	79	110	29	101	
	7	115	129	86	73	111	45	117	
[213] 25	7	147	118	72	65	98	105	174	
	11	174	132	81	76	108	103	176	
	3	159	130	78	78	108	86	156	
	8	152	125	74	75	104	98	164	
26	7	160	116	64	63	121	141	204	
	10	195	138	78	85	113	86	174	
	$3^1/_2$	163	128	69	69	109	93	138	
	8	156	124	66	82	108	125	151	
	10	152	117			106	141	161	
27	1 N.						148	166	
	4	148	115	59	67	97	168	177	
	7	152	117	60	71	99	183	186	
	10	180	138	75	93	120	141	165	
	$4^1/_2$	140	121	59	82	105	60	114	
28	7	138	106	50	65	96	106	156	165
	2	159	115	50	75	101	120	176	123
	8	159	108	45	72	98	123	180	156
29	7	167	101	39	60	90	126	195	191
	10	198	120	57	80	103	144	210	214
	6	174	113	42	75	101	123	181	126
30	7	162	108	39	67	96	123	186	175
	10	177	118	48	80	102	125	191	174
	$3^1/_4$	163	109	38	75	99	117	167	91
	8	156	102	34	70	94	113	163	142

Tag	Stunde	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
		In Pariser Linien							
Mai 1	7 A.	147	95	27	62	90	72	156	194
	1	166	112	39	81	105	108	162	60
	8	154	106	33	73	94	101	155	121
2	7	157	102	29	66	88	98	153	194
	$4^1/_2$	158	106	31	72	94	99	156	174
3	10	159	105	27	67	91	98	151	201

[214]

Tag	Stunde	IX.	X.	XI.	XII.	XIII.	XIV.	XV.
		In Pariser Linien						
Apr. 28	7 M.	209						
	2	169						
	8	204						
29	7	236						
	10	267						
	6	164						
30	7	221						
	10	239						
	$3^1/_4$	144	60	141				
	8	156	85	156				
Mai 1	7	195	108	196				
	1	184	120	180				
	8	167	140	227				
2	7		149	288				
	$4^1/_2$		150	262				
3	10		129	285				
4	7				291	262		
	3				170	146		
5	$7^1/_4$				255	226		
6	10 A.				204	173		
	$5^1/_2$				204	168		
7	10				212	180		
	1				212	171		
	$7^1/_2$				201	148		

Tag	Stunde	IX.	X.	XI.	XII.	XIII.	XIV.	XV.
		In Pariser Linien						
Mai 8	7				191	132		
	$1^1/_2$				198	132	— 3	— 10
	$3^1/_2$						— 12	— 21
	$5^1/_2$						— 15	+ 65
	7						— 36	+191
	9						+ 43	+ 97
9	7						+134	+165
	10						+132	+150
	$12^1/_2$						+ 85	— 22
	6						+ 17	— 33
	11						+ 21	+146
10	7						+ 22	+177
	9						+ 25	+171
	1						+ 26	+153
11	7						+ 23	+130
	10						+ 24	+135
	1						+ 24	+101
12	7						— 14	+ 18

[434] II.

Ueber die Bewegungen der Mimosa pudica.

Von

Ernst Brücke.

(Gelesen in der Sitzung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 13. October 1848.)

(Hierzu 8 Textfiguren.)

Aus Archiv für Anatomie u. Physiologie, herausgeg. von *Johannes Müller*, 1848.

Schon seit längerer Zeit hatte ich gewünscht, die Bewegungen der Mimosa pudica zum Gegenstand einer physiologischen Untersuchung zu machen, und es ist mir im vorigen Sommer leicht geworden, diesen Plan auszuführen, da mich Herr Professor *Meyer* nicht nur mit hinreichendem Material an Pflanzen, sondern auch mit literarischen Nachweisen auf das Freundlichste unterstützt hat.

Die Untersuchungen von *Lindsay* [1]), *Dutrochet* [2]) und *Burnett* und *Mayo* [3]) haben uns nicht nur mit manchen interessanten Erscheinungen bekannt gemacht, sondern sie haben unsere physiologische Kenntniss durch folgende drei Sätze auch wesentlich erweitert.

1) Die Gelenkwülste der Mimosen sind die Bewegungsorgane derselben (*Lindsay*, *Dutrochet*).

[435] 2) Die Stiele und Blättchen werden nicht bewegt, indem die eine Hälfte des Wulstes sie nach sich zieht, sondern dadurch, dass sie von der andern Hälfte hinüber gedrängt werden (*Lindsay*, *Dutrochet*).

---

1) MS. in der Bibliothek der Royal Society in London, datirt vom Juli 1790 (vergl. die Abhandlung von *Burnett* und *Mayo*).

2) Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux. Paris 1824.

3) Quarterly Journal of Literature, Science and Art. New Series. No. III. p. 76.

3) Derjenige Theil, auf dessen Berührung die Bewegung vorzugsweise leicht erfolgt, ist die Seite des Stielwulstes, nach der sich der vom Stiel getragene Theil hinbewegt (*Burnett* und *Mayo*).

Durch diese Untersuchungen aber, sowie durch alle übrigen, welche mir über diesen Gegenstand zu Gesichte gekommen sind, geht ein Irrthum hindurch, der auf die Theorien, welche sich verschiedene Physiologen bildeten, von wesentlichem Einfluss war; nämlich die Vorstellung, dass der Zustand, in den die Pflanze oder ein Theil derselben durch die Reizung versetzt wird, identisch sei mit dem des Schlafes, während in der That beide Zustände nichts, als das äussere Ansehen, mit einander gemein haben. Es wird sich dieses im Laufe der Untersuchung leicht von selbst ergeben; ehe ich aber zu dem eigentlich physiologischen Theil derselben übergehe, muss ich einige phytotomische Bemerkungen voranschicken.

Was den Bau der Gelenke der Mimose im Allgemeinen betrifft, so kann ich auf das verweisen, was *Meyen* in seiner Pflanzenphysiologie, Bd. III. S. 532 ff. sagt. Ich gehe deshalb hier nur auf die eigentliche Wulstsubstanz näher ein. Diese ist bekanntlich morphologisch zu betrachten als eine örtlich verstärkte Entwickelung der grünen Rindenschicht, doch sind ihre Elementartheile so eigenthümlich, dass man diesem Gewebe wohl einen eigenen Platz in der Histologie anweisen kann, zumal da sich dasselbe in ganz ähnlicher Gestalt in der grünen Rindenschicht an den Stielen der Nebenblättchen von Desmodium gyrans und an den Blattstielgelenken dieser Pflanze findet. Die Anordnung der Zellen unter einander hat nichts Eigenthümliches: das Auffallende an ihnen ist eine grosse, stark lichtbrechende Kugel, [**436**] welche man in jeder Zelle, die nicht durch den Schnitt geöffnet ist, liegen sieht. Diese Kugeln sind es, welche *Dutrochet* als die Zellen des Wulstes beschreibt, indem er die Zellen selbst gar nicht gesehen hat (l. c. Tab. I. f. 16 u. 17). Daher rührt seine Angabe, dass die einzelnen Zellen einander nicht berühren; die Behauptung, dass sie linear angeordnet seien, ermangelt jeglichen Grundes. *Meyen* nennt diese Kugeln Oeltropfen, und es ist wenigstens gewiss, dass sie Tropfen einer mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeit sind. Eine Hülle lässt sich an ihnen nicht unterscheiden, und wenn das Präparat eintrocknet, so nehmen sie eine unregelmässige Gestalt an, indem sie

anfangen, die Zellenwand zu benetzen. Bringt man Kali, Ammoniak, Essigsäure, Weingeist oder Aether hinzu, so zerfliessen sie wie ein Oeltropfen, der sich auf dem Wasser ausbreitet. Da sie sich hierdurch der ferneren Beobachtung entziehen, so kann man nicht sagen, ob sie in Aether löslich sind oder nicht. Durch Salpetersäure werden sie, wie schon *Dutrochet* beobachtete, in eine braune Masse verwandelt. Die Zellen mit diesen Kugeln sind Fig. 1 [2] und 2 [3] dargestellt. Im obersten Ende des Wulstes, da, wo seine Substanz in gemeines Zellgewebe übergeht, werden die Kugeln beträchtlich kleiner, wie Fig. 3 [4] zeigt. Welche Rolle sie bei der Entwickelung der Zellen spielen, habe ich noch nicht mit Bestimmtheit ermitteln können, und enthalte mich deshalb noch jeder näheren physiologischen Bezeichnung dieser Körper. Etwas, was einem Kern ähnlich sieht, findet man ausser den besagten Kugeln nicht in den Zellen, sondern nur Chlorophyll- und einige Amylumkügelchen. Dies sind die von *Dutrochet* beschriebenen Nervenkörper. Der Saft auch der echten Mimosen enthält bekanntlich viel Gummi, und dieses scheint namentlich auch in den Zellen des Wulstes in beträchtlicher Menge enthalten zu sein, denn sie saugen das Wasser mit einer so grossen Gewalt an, dass ein weicher und biegsamer Wulst, den man ins Wasser legt, in kurzer Zeit ganz steif und hart [**437**] wird, und, wenn man ihn mit einem recht scharfen Messer durchschneidet, die Schnittfläche wie polirt erscheint. Es muss sich uns nun noch die Frage aufdrängen, ob die reizbare Hälfte des Wulstes, also bei den Wülsten der Blattstiele erster Ordnung, die sich wegen ihrer Grösse besonders zur

Fig. 1 [2].

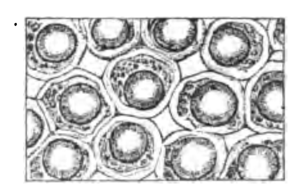


Fig. 2 [3].

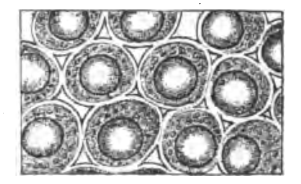
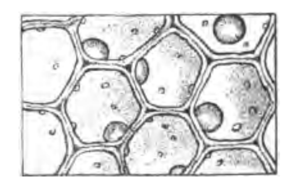


Fig. 3 [4].



Untersuchung eignen, die untere, sich von der andern morphologisch unterscheidet. Obgleich keiner der früheren Beobachter, so viel mir bekannt ist, eines solchen Unterschiedes im Baue erwähnt, so existirt doch ein sehr auffallender. Die Wände der Zellen der oberen Wulsthälfte sind nämlich beträchtlich dicker, ja mehrmal so dick, als die Zellenwände der unteren Hälfte. In Fig. 1 [2] sind Zellen aus der oberen, in Fig. 2 [3] Zellen aus der unteren Wulsthälfte abgebildet. Ob aber dieser Unterschied der wesentliche für das verschiedene physiologische Verhalten beider Wulsthälften sei, das scheint mir noch zweifelhaft. Ich habe zwar bemerkt, dass ganz junge Blätter, die schon die Tag- und Nachtstellung mitmachten, sich auf Reize bisweilen noch nicht bewegten; an dem Tage aber, an welchem sich zum ersten Male die Fiederblättchen öffnen, reagirt der Gelenkwulst schon sehr deutlich auf Reize und verhält sich wesentlich wie an den älteren Blättern, obgleich um diese Zeit der erwähnte morphologische Unterschied noch kaum merklich ist.

Nach diesen Vorbemerkungen gehe ich zu den Reactionsbewegungen der Blattstiele erster Ordnung über.

Wenn man die untere Seite eines Blattstielwulstes der Mimose berührt, so senkt sich der Blattstiel, so dass sich seine Neigung gegen den Horizont oft um 50° bis 60° ändert. Dies findet statt beim Schlafen und beim Wachen der Pflanze, und wenn der Versuch vorsichtig angestellt wird, ohne irgend welche Veränderung in der Stellung der Blättchen. *Lindsay* und nach ihm *Dutrochet* haben gezeigt, dass, wenn man die untere Hälfte des Blattstielwulstes bis auf den Holzkörper wegnimmt, der Blattstiel herabsinkt und eine [**438**] geneigte Stellung beibehält; wenn man aber die obere Hälfte entfernt, der Blattstiel zwar auch herabsinkt, sich aber nach einiger Zeit wieder erhebt und eine höhere Stellung behauptet, als er vor der Operation inne hatte. *Dutrochet* hat ferner gezeigt, dass diese Eigenschaft der einzelnen Wulsthälften, sich so zu beugen, dass sie nach der Theilungsfläche hin concav werden, sich nicht nur an der lebenden Pflanze zeigt, sondern dass auch der abgeschnittene Wulst, wenn man ihn der Länge nach hälftet, sich ebenso verhält, und dass sich dieses Beugungsvermögen, wie ich es vorläufig nennen will, in hohem Grade steigert, wenn man den Wulst kurze Zeit in Wasser legt.

Joh. Müller hat in seinem Handbuche der Physiologie (Coblenz 1840.) Bd. II. S. 22 ins Licht gesetzt, dass zuvörderst

die Frage zu entscheiden ist, ob diese Krümmung bedingt sei durch eine Verkürzung der der Axe zunächst befindlichen Theile, oder durch Ausdehnung der äusseren nach der Epidermis zu liegenden. Diese Frage zu entscheiden, habe ich folgenden Weg eingeschlagen. Ich schnitt ein Blatt mit Stiel und Gelenkwulst ab, und legte es so lange ins Wasser, bis der letztere sich wieder gerade gerichtet hatte; dann trug ich mit dem Staarmesser von beiden Seiten die Substanz des Wulstes bis auf den Holzkörper ab, und machte nun zwei Schnitte senkrecht auf die Achse, einen im oberen und einen im unteren Ende des Wulstes. Hiernach hätte ich eine rechteckige Tafel bekommen sollen; das war aber nicht der Fall, sondern das Rechteck verwandelte sich wegen der zwischen Rand und Mitte herrschenden Spannung sogleich in die Form

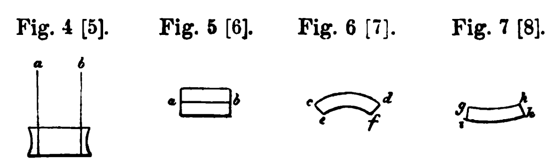


Fig. 4 [5] und ich musste noch zwei neue Schnitte in *a* und *b* (Fig. 4) machen, um ein näherungsweise rechteckiges Stück zu erhalten. Die Länge desselben (Fig. 5 [6] *ab*) maass ich bei zwanzigmaliger Vergrösserung mit dem Schraubenmikrometer; sie betrug 0,079 P. Z. Nun theilte ich durch einen Schnitt in *ab* die Tafel in zwei Hälften, von denen die obere die Form Fig. 6 [7], die [**439**] untere die Form Fig. 7 [8] annahm. Durch Messen der Sehnen und der Sinus versus bestimmte ich die Bogenlängen zu folgenden Werthen:

$$\text{Fig. 6 [7].}\begin{cases} cd = 0{,}096 \text{ P. Z.} \\ ef = 0{,}077 \text{ —} \end{cases}$$

$$\text{Fig. 7 [8].}\begin{cases} gh = 0{,}078 \text{ —} \\ ik = 0{,}086 \text{ —} \end{cases}$$

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass die Krümmung entsteht durch Ausdehnung der äusseren Theile des Wulstes, welche, so lange derselbe unverletzt ist, in einem Zustande von Spannung erhalten werden, weil die Axentheile für sie so zu sagen zu kurz sind. Für die Axentheile zeigt sich eine geringe, gegen die Verlängerung der äusseren Theile gar nicht in Betracht kommende Verkürzung; diese wird aber jetzt

niemand einer vitalen Contraction zuschreiben, da sie durch die Elasticität der Theile und dadurch, dass der Holzkörper einen Strang von beträchtlicher Dicke darstellt, hinreichend motivirt ist.

Die Ausdehnung der äusseren Theile schien mir beträchtlich genug, um durch blosse Zirkelmessungen an der lebenden Pflanze wahrgenommen zu werden, und so war es in der That. Wenn ich auf der oberen Wulsthälfte mit Tusche zwei Punkte machte, einen nach dem Stammende, einen nach dem Stielende zu, so konnte ich deutlich wahrnehmen, dass sie sich bei der Bewegung, welche auf Reizung erfolgte, von einander entfernten.

Eine ähnliche, wiewohl schwächere Spannung, wie zwischen Wulstparenchym und Holzkörper, findet unter Umständen zwischen Wulstparenchym und Epidermis statt. Legt man einen abgeschnittenen Wulst in Wasser, bis er sich gerade gerichtet hat, und trägt unten oder seitlich eine Schicht Parenchym ab, aber so, dass der Holzkörper nirgend blossgelegt wird, so krümmt sich das abgeschnittene Stück nach der Oberhautseite zu. Aus demselben Grunde richtet sich [**440**] ein oberflächlicher Abschnitt der oberen Wulsthälfte, wenn er vorher stark gekrümmt war, im Wasser wieder gerade.

Nachdem ich in dem Vorstehenden gezeigt habe, dass die Beugung jeder Wulsthälfte durch Ausdehnung ihres Wulstparenchyms in der Richtung der Längsachse zu Stande kommt, gehe ich zur Entscheidung einer zweiten Frage über, welche ich mir folgendermaassen gestellt habe: Wird das Herabsinken des Blattstiels, welches auf den Reiz erfolgt, wie es die bisherige Ansicht der Pflanzenphysiologen war, dadurch hervorgebracht, dass die Turgescenz der oberen Wulsthälfte plötzlich wächst und so das Gleichgewicht gestört wird, oder umgekehrt dadurch, dass die untere Wulsthälfte erschlafft? — Ist ersteres der Fall, so ist es klar, dass das Gelenk straffer werden muss, ist letzteres der Fall, so muss es erschlaffen. Welches von beiden stattfindet habe ich durch folgendes Verfahren ermittelt. Ich brachte eine Mimosenpflanze, nachdem ich die Topferde mit Fliesspapier bedeckt und dieses mit Draht befestigt hatte, in eine solche Lage, dass ein Blattstiel derselben horizontal stand, und maass den Winkel, den er mit dem Stamme machte, dann kehrte ich die Pflanze vorsichtig um, so dass der Topf oben war, brachte

sie in eine solche Lage, dass derselbe Blattstiel wieder horizontal stand, und maass nun den Winkel, den er mit dem Stamme machte. Nenne ich die beiden Winkel α und α_1, so giebt mir, wie leicht ersichtlich, die Grösse $\alpha_1 - \alpha$ ein Maass für die Straffheit oder vielmehr für die Schlaffheit des Gelenks. Hierauf richtete ich die Pflanze wieder auf, maass α noch einmal, um mich zu überzeugen, dass in dem Gelenke beim Umkehren keine Veränderung vorgegangen war, reizte dann den Wulst, und wiederholte nach dem Herabsinken des Blattes dasselbe Experiment, indem ich die nun zu bestimmenden Winkel mit β und β_1 bezeichnete. War dann $\beta_1 - \beta$ grösser als $\alpha_1 - \alpha$, so war natürlich das Gelenk erschlafft und dies war in der That in so hohem Grade der Fall, dass bei allen diesen [441] Versuchen $\beta_1 - \beta$ gegen zwei- bis dreimal so gross als $\alpha_1 - \alpha$ ausfiel. Es lässt sich denken, dass die durch blosses Visiren mit dem Transporteur gemachten Winkelmessungen keinen Anspruch auf astronomische Genauigkeit haben, ja die Beobachtungsfehler können bis zu zwei bis drei ganzen Graden gehen; um aber zu zeigen, dass selbst noch viel grössere Fehler ohne Einfluss auf das wesentliche Resultat sein würden, will ich hier beispielsweise die Zahlen aufführen, die ich zu verschiedenen Tageszeiten von vier Blättern einer und derselben Pflanze erhielt.

Blatt I.

Morgens $10^1/_2$ Uhr.		Abends $7^1/_2$ Uhr.	
$\alpha_1 = 150$	$\beta_1 = 120$	$\alpha_1 = 113$	$\beta_1 = 80$
$\alpha = 136$	$\beta = 80$	$\alpha = 100$	$\beta = 40$
$\alpha_1 - \alpha = 14$	$\beta_1 - \beta = 40$	$\alpha_1 - \alpha = 13$	$\beta_1 - \beta = 40$

Blatt II.

Mittags 1 Uhr.		Abends $7^1/_2$ Uhr.	
$\alpha_1 = 155$	$\beta_1 = 147$	$\alpha_1 = 113$	$\beta_1 = 104$
$\alpha = 130$	$\beta = 100$	$\alpha = 90$	$\beta = 53$
$\alpha_1 - \alpha = 25$	$\beta_1 - \beta = 47$	$\alpha_1 - \alpha = 23$	$\beta_1 - \beta = 51$

Blatt III.

Nachmittags 3 Uhr.		Abends $7^1/_2$ Uhr.	
$\alpha_1 = 149$	$\beta_1 = 92$	$\alpha_1 = 115$	$\beta_1 = 63$
$\alpha = 128$	$\beta = 50$	$\alpha = 103$	$\beta = 34$
$\alpha_1 - \alpha = 21$	$\beta_1 - \beta = 42$	$\alpha_1 - \alpha = 12$	$\beta_1 - \beta = 29$

Blatt IV.

$\alpha_1 = 148$	$\beta_1 = 115$	$\alpha_1 = 93$	$\beta_1 = 52$
$\alpha = 121$	$\beta = 67$	$\alpha = 78$	$\beta = 18$
$\alpha_1 - \alpha = 27$	$\beta_1 - \beta = 48$	$\alpha_1 - \alpha = 15$	$\beta_1 - \beta = 34$

Man kann noch den Einwand erheben, dass diese Versuche zwar beweisen, das Gelenk erschlaffe nach der [**442**] Bewegung, die Bewegung selbst aber könne dennoch durch eine momentan sich entwickelnde Kraft zu Stande gebracht werden. Diesem Einwurfe ist aber leicht durch ein Experiment zu begegnen. Man kehre eine Mimosenpflanze um, bringe sie in eine solche Lage, dass ein Blattstiel horizontal steht, und reize nun den Wulst desselben. Entwickelte sich eine Kraft, welche nach der Bewegung wieder nachlässt, wie z. B. bei der Muskelcontraction, so müsste der Blattstiel in die Höhe geschnellt werden, und dann wieder etwas herabsinken; das ist aber nicht der Fall, sondern er steigt langsam bis zu einer gewissen Höhe und bleibt dann stehen. Man drehe nun die Pflanze, bis der Blattstiel wieder horizontal steht, und messe nun den Winkel (β_1), den er mit dem Stamme macht, richte die Pflanze vorsichtig auf, bringe sie dann in die vorige Lage zurück, messe den Winkel von neuem, und man wird ihn eben so gross finden, wie vorhin. Man sieht also, dass sich die Bewegung einfach daraus erklärt, dass durch die Erschlaffung der unteren Wulsthälfte ein Theil der Kraft, die durch die Spannung zwischen dem Holzkörper und der oberen Wulsthälfte gegeben ist, frei, und somit der Blattstiel in Bewegung gesetzt wird.

Wenn wir uns nun fragen, welche Vorstellungen wir uns über die inneren Ursachen dieser Erschlaffung machen, so kann es uns offenbar nicht genügen, die untere Wulsthälfte vor der Reizung mit einem contrahirten Muskel, nach der Reizung mit einem erschlafften zu vergleichen; denn erstens würde dadurch unsere Einsicht in die Sache nicht wesentlich gefördert werden, und zweitens fehlt uns für einen solchen Vergleich sowohl in morphologischer als in physiologischer Hinsicht jeder reelle Anhaltspunkt. Wir haben hier die Veränderung, welche in dem Wulste vor sich geht, als ein rein mechanisches Problem aufzufassen.

Wenn ich eine Blase oder sonst irgend einen Schlauch mit biegsamen Wänden mit einer Flüssigkeit strotzend [**443**] anfülle, so wird er eine gewisse Gestalt annehmen, und einer



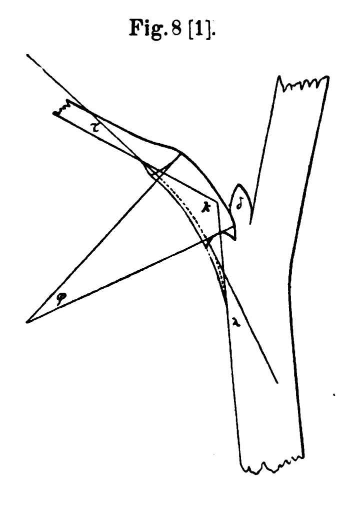
äusseren Gewalt, welche ihm eine andere zu geben sucht, einen gewissen Widerstand entgegensetzen, und deshalb eben nennen wir ihn gespannt. Lassen wir etwas Flüssigkeit heraus, so wird der besagte Widerstand abnehmen, und wir sagen der Schlauch sei schlaffer geworden. Die einfachste Vorstellung scheint demnach zu sein, dass wir annehmen, die untere Wulsthälfte erschlaffe, indem eine gewisse Quantität Flüssigkeit aus ihr heraustritt, und sich einen andern Platz sucht. Es ist hierbei aber wohl zu bedenken, dass die untere Wulsthälfte nicht einem Schlauche zu vergleichen ist, sondern einer grossen Menge von geschlossenen Schläuchen, welche, wenn sie von aussenher nirgend gedrückt werden, näherungsweise kugelförmig sind, und einer an den anderen angeheftet mit den analogen Schläuchen der oberen Wulsthälfte in einer gemeinsamen Hülle liegen. Die Spannung des Ganzen beruht also darauf, dass jede einzelne Zelle strotzend mit Saft angefüllt sei. Ist nun auch zwischen den Zellen tropfbare Flüssigkeit enthalten, so muss man sich denken, dass diese zunächst ihren Ort verlässt, und durch andere aus den Zellen kommende theilweise wieder ersetzt wird; befindet sich aber Luft in den Intercellularräumen, so muss diese ihren Ort verlassen und durch Saft ersetzt werden. Ausser der allgemeinen Beobachtung, dass Intercellularräume von einiger Weite in der Regel Luft enthalten, lässt sich in diesem Falle dafür noch ein besonderer Grund aufführen. *Lindsay* hat nämlich schon beobachtet, dass sich die untere Wulsthälfte, sobald sie sich krümmt, dunkler färbt. Ich habe mich überzeugt, dass diese Farbe nicht nur der Oberfläche, sondern auch der Substanz des Wulstes angehört. Dicht um den Holzkörper herum aber findet man eine Schicht, welche ganz hell ist, wie man sich durch das Mikroskop leicht überzeugen kann, von Luft, welche in den hier sehr grossen Intercellularräumen enthalten ist. Es liegt also wohl sehr nahe zu [**444**] vermuthen, dass diese Luft vor der Reizung in den Intercellularräumen bis gegen die Epidermis hin vertheilt war, und die Farbe sich eben dadurch verdunkelte, dass die Luft durch einen stärker lichtbrechenden Körper, durch Pflanzensaft verdrängt wurde. Vielleicht kann man von hier aus auch einen Anhaltspunkt gewinnen, um sich die ersten Vorstellungen zu bilden über den Zusammenhang zwischen Reizung und Bewegung. Es ist nämlich eine bekannte Thatsache, auf die ich früher bei meinen Diffusionsversuchen häufig aufmerksam geworden bin,

dass bei einem gegebenen Druck Wasser durch eine poröse Scheidewand viel leichter hindurchgepresst wird, wenn auf beiden Seiten derselben Wasser ist, als wenn sich auf der einen Luft befindet. Wenn nun die einzelnen Zellen strotzend mit Saft angefüllt sind, und eine Erschütterung oder ein leiser Druck veranlasst, dass aus irgend einer Zelle etwas Saft austritt und Luft aus dem Intercellularraume vertreibt, so kann derselbe, indem er die angrenzenden Zellenwände benetzt, Veranlassung geben, dass durch den Druck, unter dem der Saft in jeder einzelnen Zelle steht, ein neuer Saftaustritt stattfindet; und da die Intercellularräume überall communiciren, so kann sich dieser Process rasch fortpflanzen, so dass sich nunmehr in dem ganzen Wulste ein neuer Gleichgewichtszustand bildet, indem die Luft nicht mehr gleichmässig in den Intercellularräumen vertheilt ist, sondern nach bekannten Gesetzen überall die grössten Räume einzunehmen sucht, indem sie aus den kleineren von der Flüssigkeit verdrängt wird. In ähnlicher Weise kann man sich denken, dass der Gleichgewichtszustand gestört wird, indem ich der Pflanze an einer Stelle durch Verwundung mit dem Messer oder durch Brennen Saft entziehe, der von benachbarten Theilen aus wieder ersetzt wird, namentlich wenn ich die Gefässe des Holzkörpers verletzt habe. Man würde auch bei der einfachen Reizung durch Berührung der Schwierigkeit überhoben sein, zu sagen, wo die austretende Substanz, sei sie tropfbar [**445**] oder gasförmig, bleibt, denn bei der vorgetragenen Ansicht kann das gesammte Parenchym eines Wulstes, als ein Ganzes betrachtet, nach der Reizung noch ebensoviel tropfbare und gasförmige Substanz enthalten, als vor derselben, und das Gelenk doch bei dem neuen Gleichgewichtszustande, wie jeder leicht einsieht, schlaffer sein, als bei dem früheren. Ich will jedoch diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen, um mich nicht in Spekulationen zu verlieren, die ich nicht mehr durch Versuche unterstützen kann. Ich habe nur darauf aufmerksam machen wollen, dass wir hier zwar für jetzt, aber vielleicht nicht für immer an der Grenze wirklicher Erklärungsversuche stehen.

Es mag nicht überflüssig sein, ehe wir zu andern Versuchen übergehen, noch darauf aufmerksam zu machen, dass die Differenzen der Winkel, welche ein Blattstiel zu verschiedenen Zeiten mit dem Stamme oder irgend einer andern festen geraden Linie macht, die in der Ebene liegt, in der er seine

Bewegungen vollführt, wirklich ein directes Maass für die Veränderungen in der Gleichgewichtslage seines Wulstes sind, wenn man aus den Versuchen die Wirkung der Schwere des Blattes eliminirt. Der Gelenkwulst stellt in gestreckter Lage einen fast cylindrischen Körper dar, der auf den Stamm so aufgesetzt ist, dass seine Achse mit der des Stammes einen stumpfen Winkel bildet, während der Blattstiel seinerseits auch etwas schief gegen die Achse des Wulstes steht, indem er etwas stärker als diese gegen den Horizont geneigt ist. Das alleräusserste Ende des Wulstes gegen den Blattstiel hin unterscheidet sich durch seinen Bau von dem übrigen, indem es aus gemeinem Zellgewebe besteht, es gehört nicht zu dem eigentlichen Bewegungsorgan, gegen welches es ziemlich scharf abgegrenzt ist, und sich schon äusserlich durch seine hellere Farbe unterscheidet. Wenn sich der Gelenkwulst krümmt, so bildet er ein Stück eines kreisrunden Ringes. Fig. 8 [1] ist ein Stück des Stammes einer Mimose im Durchschnitt dargestellt, mit [446] dem Gelenkwulste, einem Stück des Blattstiels und der Achselknospe. Legt man in der Ebene, in der die Bewegung stattfindet, durch das untere und obere Ende des Wulstes gerade Linien senkrecht auf die Axe desselben, so sollen diese den Winkel φ mit einander bilden, τ und λ sind die beiden Winkel, welche der Blattstiel und der Stamm mit den zu den Schenkeln des Winkels φ als Radien gehörigen Tangenten bilden, $\varkappa$ endlich ist der Winkel, den der Blattstiel mit dem Stamme bildet. Denke ich mir nun den Wulst der Länge nach in Elemente zerlegt, so dass diese bei gestreckter Lage gleich lang sind, und nenne zwei solcher Elemente s und s_1, so habe ich offenbar $\frac{s - s_1}{d} = \varphi$, wenn ich mit d die Entfernung der Elemente von einander bezeichne, projicirt auf die Richtungsebene, in der der Blattstiel seine Bewegung vollführt. Ich werde also

Fig. 8 [1].



die jetzige Lage des Wulstes durch φ, eine andere durch φ_1 und den Unterschied zwischen beiden durch $\varphi - \varphi_1$ bezeichnen können. Statt der Differenz $\varphi - \varphi_1$ kann ich aber auch die $\varkappa - \varkappa_1$ setzen, da $\varphi + \varkappa + \tau + \lambda = 2R$ und τ und λ wenigstens näherungsweise constant sind. Wenn man also an einem Blattstiele beobachtet, der sich in horizontaler Ebene bewegt, so erhält man aus den Differenzen der abgelesenen Winkel ein unmittelbares Maass für die Veränderungen der Gleichgewichtslage des Gelenkwulstes, während in den oben angeführten Versuchen die Straffheit des Gelenks nach der Grösse des Winkels bestimmt wurde, um den die Schwere des Blattes den Blattstiel nach beiden Seiten hin aus der Gleichgewichtslage entfernen konnte, wenn sie bei horizontaler Stellung des Blattstiels, also mit dem Maximum ihrer Kraft wirkte.

Ich muss endlich noch einmal auf *Dutrochet*'s Versuche zurückkommen, deren Resultate zwar von einigen sehr achtbaren Schriftstellern in ihrer ganzen Ausdehnung bestätigt sind, dagegen aber von anderen mit Entschiedenheit in Abrede gestellt werden. Der Grund dieser [**447**] Meinungsverschiedenheit liegt eben darin, dass man die Bewegungen des Schlafens und Wachens nicht streng von den Reactionsbewegungen gesondert und die physiologischen Verschiedenheiten der oberen und der unteren Wulsthälfte nicht beachtet hat. *Meyen* sagt in seinem neuen System der Pflanzenphysiologie Bd. III. S. 487: »Es ist in der That auffallend, dass sich die Botaniker durch jene *Dutrochet*'schen Beobachtungen so lange Zeit hindurch haben täuschen lassen, denn es ist gar nicht schwer nachzuweisen, dass sie unrichtig sind, und dass alsdann auch alle die sinnreichen Hypothesen zusammenfallen, welche man zur Erklärung dieser Erscheinung aufgestellt hat. Ich habe an kräftigen Exemplaren der Sinnpflanze mitten im Sommer jene Versuche oft wiederholt, und zwar mit aller Sorgfalt, aber stets erhielt ich andere Resultate. Ich schnitt das Zellengewebe der unteren Seite des Gelenkes bis auf das Holzbündel in dessen Mitte vollkommen eben ab, und schon am zweiten Tage, sowie noch mehrere Wochen lang nachher, bewegten sich diese Blattstiele nach wie vor; am Morgen erhoben sie sich, und am Abend senkten sie sich. Ich schnitt an anderen Blättern die obere Zellenmasse des Gelenkes ab, und sogleich senkte sich der Blattstiel, erhob sich aber später und in den folgenden Wochen bewegten sich auch diese Blätter nach wie vor.«

Es ist allerdings richtig, dass die Blattstiele auch nach der Operation bei Nacht eine andere Stellung annehmen, als bei Tage; dies ist aber ein Punkt, den wir weiter unten erörtern werden. Hier handelt es sich nur darum, ob sich die operirten Blattstiele noch auf angebrachte Reize bewegen, und dies findet, wenn man die untere Wulsthälfte, also die reizbare, fortgenommen hat, nicht statt. *Dutrochet* stellt es auch in Abrede für den Fall, dass man die obere Wulsthälfte weggenommen hat (l. c. S. 57), aber mit Unrecht. Es treten in der That Bewegungen ein, nur von viel geringerer Energie, als bei nicht operirten Blättern. Ich **[448]** bemerkte dieselben zuerst an einem Blattstiele, der sich wie gewöhnlich in verticaler Ebene bewegte. Ich glaubte, dass es hier vielleicht nur die Schwere des Blattes sei, welche den Blattstiel bei Erschlaffung des Wulstes auf den angebrachten Reiz herabdrücke. Ich brachte deshalb einen Ast mit einem in derselben Weise operirten Blatte in eine solche Lage, dass die Bewegungen in horizontaler Richtung vor sich gehen mussten, und fand, dass sie sich auch jetzt, wenngleich in schwächerem Grade zeigten. Bei öfterer Wiederholung des Versuchs fiel mir aber eine Verschiedenheit von den gewöhnlichen Bewegungen auf. Während nämlich bei gesunden Gelenken die Veränderung des Winkels $\varkappa$ Fig. 8 [1], welche auf den Reiz erfolgt, bis zu einer gewissen später zu erörternden Grenze unabhängig von der Tageszeit ist, in der der Versuch angestellt wird, zeigte sich bei dem operirten Gelenke, dass die Bewegungen um so unmerklicher wurden, je weiter der Blattstiel in die Nachtstellung eintrat. Dies Factum brachte mich darauf, dass diese Bewegung ihren Grund haben müsse in einer durch die Tagstellung bedingten Spannung. Der in der gedachten Weise operirte Blattstiel stand nämlich in der Nachtstellung so, dass die Achse des Wulstes ungefähr eine gerade Linie bildete, eine Lage, welche nicht operirte Blätter nur in der höchsten Tagstellung erreichen, während er in der Tagstellung sich so richtete, dass der Wulst einen gegen die Wundfläche hin concaven Bogen bildete. Es ist klar, dass hierdurch die Epidermis in einen hohen Grad von Spannung versetzt werden musste (vergl. oben S. [439]), also beim Erschlaffen des Wulstes den Blattstiel gegen seine Nachtstellung hin zurückzog.

Für diejenigen, welche geneigt sind, diese Versuche zu wiederholen, will ich noch die Art und Weise näher beschreiben, in welcher ich sie anzustellen pflegte. Die Operation

stellte ich an, nachdem die Sonne die Pflanze verlassen hatte, und suchte einen Stiel aus, der einen gut [**449**] beweglichen, kräftigen Wulst hatte, und ein nicht zu schweres Blatt trug. Ich schnitt dann mit dem Staarmesser von der zu entfernenden Wulsthälfte eine solche Lage ab, dass der Holzkörper in seiner ganzen Länge sichtbar ward, und nahm an beiden Seiten mit zwei schrägen Schnitten das noch übrige fort. Lässt man nach der Operation die Pflanze von der Sonne bescheinen, oder wird sie nicht sorgfältig begossen, so erlischt die Motilität der zurückbleibenden Wulsthälfte, auch wenn das Blatt fortfährt zu vegetiren. Die Reizung vollführe ich in allen Fällen, in denen die untere Wulsthälfte noch vorhanden ist, indem ich dieselbe mit einer Bleistiftspitze oder einem Stäbchen vorsichtig berühre. Dieses Mittel ist vollkommen sicher, ohne allen Nachtheil für das Object und stört die Beobachtung nicht, wie es das Schütteln der Pflanze oder das Schlagen auf das Blatt thut. Wenn die untere Wulsthälfte nicht mehr vorhanden ist, so bekommt man durch die bekannten Reizmittel, wie erwähnt, durchaus keine Spur von Veränderung in der Stellung des Blattstiels, vorausgesetzt, dass man den zurückgebliebenen Theil des Wulstes nicht verbrennt oder auf andere Weise zerstört.

Die Bewegung der Blattstiele zweiter Ordnung, welche auf angebrachte Reize erfolgt, besteht bekanntlich in einer Adduction derselben gegen die verlängerte Achse des Blattstiels erster Ordnung und auch hier ist die reizbare Seite des Gelenkwulstes die, nach welcher hin die Bewegung erfolgt. Die Bewegungen sind aber schwächer und brauchen meist heftigere Reize, um ausgelöst zu werden, als die der Blattstiele erster Ordnung.

Die Fiederblättchen bewegen sich wie bekannt in der Weise, dass sie sich nach aufwärts wenden, bis sie einander mit ihren Volarflächen berühren. Wenn man aber diese Bewegung genauer beobachtet, so kann man nicht umhin zu bemerken, dass sie keine einfache Wendung ist. Die Drehung erfolgt nämlich nicht um den Blattstiel zweiter [**450**] Ordnung als Axe, sondern die Drehungsaxe stellt für jedes Blattpaar eine Linie dar, die gegen den Blattstiel zweiter Ordnung in der Weise schief gestellt ist, dass sie mit ihm einen spitzen an der oberen Seite gegen den Blattstiel erster Ordnung hin offenen Winkel bildet, den wir ψ nennen wollen. Da nun bei der vollen Tagstellung eine durch sämmtliche

Blattflächen gelegte Ebene dem Blattstiele zweiter Ordnung parallel ist, so ist es klar, dass die Ebene der Drehung auch nicht senkrecht auf der der Blattflächen stehen kann, und dass sich die Blättchen, wenn sie sich mit ihren Volarflächen an einander legen wollen, während der Wendung nach aufwärts zugleich um den Winkel ψ um ihre eigene Mittelrippe als Axe drehen müssen. Denkt man sich also hier wie bei dem Blattstiel erster Ordnung den Wulst in zwei Hälften getheilt, so ist die obere, wie dieses durch *Burnett* und *Mayo* bekannt ist, die reizbare, und die zwischen beiden gedachte Grenzfläche wird um so stärker gewunden sein, je weiter die Blätter in die Tagstellung eingetreten sind. Wegen dieses complicirten Verhältnisses und wegen ihrer Kleinheit sind die Wülste der Fiederblättchen zu Versuchen ebenso ungeeignet, wie es die der Blattstiele zweiter Ordnung wegen der Trägheit ihrer Bewegungen sind. Will man ein einzelnes Fiederblättchen in Bewegung setzen, so berührt man vorsichtig die obere Seite seines Wulstes, dann richtet es sich sofort auf. War die Berührung so hart, dass sich die Erschütterung fortpflanzt, so erheben sich andere Blätter mit. Ist die Pflanze sehr reizbar, so richtet sich auch bei sehr leiser Berührung das zu demselben Paare gehörige Fliederblättchen mit auf, und die übrigen Blattpaare der Fieder folgen in regelmässiger Reihenfolge nach, wie dies vielfältig beschrieben worden ist. Ich gehe deshalb, um mich hier nicht noch auf einem hinreichend bekannten Gebiete zu verbreiten, zu den Erscheinungen von Schlaf und Wachen über.

Die Bewegungen des Blattstiels erster Ordnung beim [**451**] Einschlafen besteht bekanntlich darin, dass der Winkel $\varkappa$ Fig. 8 [1] nach und nach um eine grössere oder geringere Anzahl von Graden verkleinert wird; sie ist also ihrer äusseren Erscheinung nach identisch mit derjenigen, welche auf den Reiz erfolgt, nur dass sie langsamer von statten geht; die folgenden Betrachtungen werden aber zeigen, dass beide Bewegungen wesentlich verschiedener Natur sind.

Wenn die Reactionsbewegungen und die Bewegungen beim Einschlafen sich nur durch ihre verschiedene Geschwindigkeit von einander unterschieden, so sollte man auch glauben, dass ein Blattstiel, je mehr er in die Nachtstellung eintritt, um so mehr auch die Fähigkeit verliert sich auf Reize zu bewegen, z. B. dass, wenn in der Tagstellung eines Blattstiels $\varkappa = 135^{\circ}$ ist und er sich auf den Reiz um 45° bewegt,

seine Reaction auf Reize aufhören oder doch sehr verringert sein möchte, wenn er so weit eingeschlafen ist, dass $\varkappa$ nur noch 90° beträgt; dies ist aber keineswegs der Fall, sondern man sieht die Blätter im Schlaf sich im Mittel mit eben so grosser Amplitude bewegen, wie im Wachen; kleiner wird dieselbe erst, wenn durch die Nachtstellung $\varkappa$ bis zu einem gewissen Grade verkleinert ist, da begreiflicher Weise für $\varkappa$ ein unterer Grenzwerth existirt, der den Spielraum der Bewegung in diesem Falle beschränkt. Da dieser Grenzwerth und ausserdem die mittlere Reactionsamplitude bei verschiedenen Blättern verschieden ist, so kann man auch den Punkt nicht allgemein angeben, von dem die Beschränkung der Reactionsbewegungen anfängt.

Wir haben ferner gesehen, dass bei der Reactionsbewegung das Gelenk erschlaffte. Ich untersuchte deshalb, ob dies auch beim Eintreten in die Nachtstellung der Fall sei, und fand, dass man diese Frage mit Nein beantworten müsse. Schon wenn man die Tabelle S. 41 ansieht, bemerkt man, dass der Werth von $\alpha_1 - \alpha$ für die Zeit von $7^1/_2$ Uhr Abends, die bereits dem Schlaf angehörte, nicht grösser, ja bei Blatt III und IV sogar beträchtlich kleiner [**452**] ausfällt, als bei den dazu gehörigen Tagstellungen. Später als um $7^1/_2$ Uhr Abends habe ich den Versuch nicht in der gewohnten Weise anstellen können, weil die Pflanzen so empfindlich wurden, dass die Blattstiele jedesmal in Bewegung geriethen, wenn ich den Topf umkehrte, um α_1 zu messen. Ich habe mich deshalb damit begnügen müssen, nachdem ich den Winkel α gemessen hatte, was jedesmal ohne alle Schwierigkeit gelang, den Topf so weit auf die andere Seite zu neigen, dass der Blattstiel senkrecht stand, den Winkel zu messen, den er nun mit dem Stamme machte, und das Resultat mit einem ähnlichen Versuche, den ich am Tage an demselben Blatte anstellte, zu vergleichen. Ich habe hierbei die Differenz am Abend und in der Nacht niemals grösser, häufig aber beträchtlich kleiner gefunden als am Tage. Bringt man hierzu noch, dass bei der Stellung, welche die Blattstiele zweiter Ordnung im Schlaf annehmen, das Gewicht des Blattes an einem längeren Hebelarm wirkt, so kann man mit Sicherheit aussagen, dass die Gelenke im Schlaf straffer sind, als im Wachen. Ihr Zustand ist also in dieser Beziehung demjenigen gerade entgegengesetzt, in den sie durch Reizung gebracht werden. Ebenso wie im Wachen erschlaffen die Gelenke im

Schlaf durch Reizung, so lange die Amplitude ihrer Bewegung nicht beschränkt ist (vergl. oben); in dem Grade aber, wie dieses der Fall ist, wird natürlich auch der Grad der Erschlaffung, welche auf den Reiz eintritt, verringert.

Nimmt man von einem Blattstielwulste in oben beschriebener Weise die obere Wulsthälfte weg, so verändert der Blattstiel zwar, wie schon oben erwähnt, seine Lage im Allgemeinen, indem der mittlere Werth von $\varkappa$ bedeutend wächst, aber er macht dabei nach wie vor Bewegungen des Wachens und Schlafens, nur mit kleinerer Amplitude; dasselbe findet statt, wenn man die untere Wulsthälfte wegnimmt, mit dem Unterschiede, dass hier der mittlere Werth von $\varkappa$ bedeutend abnimmt.

[**453**] Man kann also so viel als festgestellt betrachten, dass die Bewegungen des Schlafens und Wachens auf einer abwechselnden Verlängerung und Verkürzung der oberen und unteren Wulsthälfte beruhen. Dass man den Zustand von Verkürzung, in welchem sich die untere Wulsthälfte während des Schlafes befindet, nicht mit ihrer Erschlaffung verwechseln darf, davon habe ich noch folgenden schlagenden Beweis gehabt. Ich hatte unter den Blattstielen, deren Gang ich beobachten wollte, kleine Kreistheilungen auf Elfenbeinplättchen angebracht, über denen der Blattstiel wie der Zeiger einer Uhr über dem Zifferblatte sich bewegte*). Ein Blattstiel nun,

*) Es ist klar, dass hierzu keine gewöhnlichen Kreistheilungen mit festem Centrum brauchbar sind, sobald man die Veränderungen, welche $\varkappa$ in verschiedenen Zeiten des Tages erleidet mit einander vergleichen will. Hierzu brauchbare Theilungen erhält man auf folgendem Wege. In der Formel $\varrho = 180\frac{s}{\varphi\pi}$, in welcher s die Länge des beweglichen Wulstes bedeutet, lasse man φ nach und nach die Werthe 0; 10; 20 .... bis 180 annehmen und trage die dazu gehörigen Werthe von ϱ von einem festen Punkte C aus auf einer geraden Linie ab. Nenne ich nun die Endpunkte dieser Stücke c_0; c_{10}; c_{20} ...., die Stücke selbst ϱ_0; ϱ_{10}; ϱ_{20} .... und die dazu gehörigen Werthe von φ ebenso φ_0; φ_{10}; φ_{20} ...., so habe ich an die gerade Linie bei c_n den Winkel φ_n anzutragen, dem neuen Schenkel die Länge ϱ_n zu geben und dann am Ende desselben $90^\circ - \tau$ (Fig. 8 pag. 45) anzutragen; der neue Schenkel dieses Winkels ist der Theilstrich für die Grundzahl n, wenn man die Grade von der Linie an zählt, in welcher der untere Rand des Blattstiels bei völlig gestrecktem Wulste liegt. Diese Theilung muss nun so angebracht werden, dass die gegebene gerade Linie auf die Linie $\varphi\delta$ (Fig. 8) fällt und der feste Punkt C auf derselben in den Punkt, in dem der Holzkörper des Wulstes $\varphi\delta$ schneidet. Dies lässt sich

an dem ich die obere Wulsthälfte weggenommen [454] hatte, bewegte sich in horizontaler Richtung äusserst nahe über seiner Theilung, aber doch so, dass er sie nirgend berührte. Reizte ich den Wulst dieses Blattstiels am Tage, so machte er eine kleine rückgängige Bewegung, und fiel dabei auf die Theilung, während er bei seinem viel weiteren Wege, den er jeden Abend zurücklegte, um in die Nachtstellung zu gelangen, frei über derselben hinschwebte.

Es handelt sich nun noch darum, welche Vorstellung man sich von dem inneren Hergange bei dieser Verlängerung und Verkürzung machen könne. Die Hypothese, welche sich uns zunächst aufdrängt, ist die, dass die Zellen jeder von beiden Wulsthälften in den verschiedenen Tageszeiten mit verschiedener Kraft Flüssigkeit ansaugen, und wenn sie sich auf der einen Seite nicht beweisen lässt, so liegt auf der anderen in ihr auch nichts besonders unwahrscheinliches, da, wie wir wissen, bei Tage und bei Nacht, im Hellen und im Dunkeln, verschiedene chemische Processe in den Pflanzen vor sich gehen.

Derjenige Leser, welcher weiter über den Gegenstand nachdenkt, wird darauf geführt werden, dass vielleicht noch eine andere Erklärungsweise sehr nahe liegt. Es lassen sich nämlich gewisse Verhältnisse des Baues und der Aneinanderlagerung der Zellen denken, bei denen eine blosse Vermehrung oder Verminderung der Saftmenge in dem ganzen Wulste eine Gestaltveränderung mit sich bringen würde. Eine derartige Vorstellung scheint jedoch hier den Thatsachen gegenüber nicht erlaubt zu sein. Nimmt man an, dass die Nachtstellung die des grösseren Saftreichthums sei, so ist es schwer zu begreifen, warum sich ein gekrümmter Wulst im Wasser in kurzer Zeit gerade richtet; nimmt man dagegen an, dass der grössere Saftreichthum die Tagstellung bedinge, so ist dies schon deswegen unwahrscheinlich, weil die Gelenke am Tage schlaffer sind, als bei Nacht. Schneidet man ferner ein Blatt von seinem Stiele ab, so macht derselbe noch ein oder zwei Tage die Bewegung des [455] Schlafens und Wachens mit und bleibt dann häufig in der Tagstellung stehen, während der Wulst abstirbt und vergelbt.

---

nur durch Probiren erreichen. Die Theilung hat ihre richtige Stellung, wenn der Blattstiel, während er sich über der Theilung hinbewegt, mit seinem unteren Rande jeden Theilstrich gleichzeitig in seiner ganzen Länge deckt.

Die Bewegung der Blattstiele zweiter Ordnung beim Einschlafen besteht bekanntlich darin, dass sie sich sämmtlich aneinanderlegen, indem sie dieselbe Bewegung, nur mit grösserer Amplitude ausführen, mit der sie auf Reize antworten. So lange sie sich noch nicht völlig aneinandergelegt haben, bewegen sie sich noch auf Reize, sie verhalten sich also in dieser Beziehung wie die Blattstiele erster Ordnung, nur dass ihre Bewegungen kleiner und träger sind. Auch die Fiederblättchen bewegen sich auf Reize, so lange sie sich noch nicht völlig aufgerichtet haben; ist dies aber einmal der Fall, so bewegen sie sich auf Reize nicht weiter, auch wenn man alle Blättchen auf einer Seite der Fieder fortgenommen hat, so dass diese der weiteren Bewegung kein Hinderniss entgegensetzen können. Die Fiederblättchen sind also darin von den Blattstielen erster und zweiter Ordnung verschieden, dass sie gereizt, wenn sie sich in der vollen Tagstellung befinden, den ganzen Spielraum durchmessen, der ihrer Bewegung überhaupt zukommt, während die Reactionsbewegungen der Blattstiele erster und zweiter Ordnung immer nur einen Bruchtheil ihres gesammten Spielraums betragen.

Königsberg, den 22. September 1848.

 III.

Die Elementarorganismen.

Von

Ernst Brücke.

(Vorgelegt in der Sitzung vom 10. October 1861.)

Aus Sitzungsberichte der kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Cl. 44. Bd. II. Abth. 1861.

Es ist nunmehr fast ein Vierteljahrhundert vergangen, seit uns Theodor *Schwann* die Elementarorganismen[1]), aus welchen sich der zusammengesetzte Thierleib aufbaut, als solche kennen lehrte und ihre Umwandlung zu den verschiedenen Geweben nachwies. In jenem allbekannten Capitel, welches er unter der Ueberschrift: »Theorie der Zellen« seinem Buche anfügte, schilderte er in bewundernswürdiger Weise ihre Bedeutung für den Gesammtorganismus und brachte dadurch in einer ganzen Reihe von Anschauungen die völlige und bleibende Umgestaltung hervor, welche uns gewissermassen in ein neues Zeitalter der physiologischen Forschung eintreten liess.

In Rücksicht auf die Entstehung der einzelnen Zellen baute er auf Angaben von *Schleiden* in einer Weise fort, die sich durch die späteren Erfahrungen nicht vollkommen bewährt hat. Er liess Zellen frei im Blastem durch Aggregation von Molekülen und Aufsaugung von Flüssigkeit entstehen. Spätere Forschungen haben dies nicht bestätigt, und wenn in der That ein Fall beobachtet würde, in dem zellenähnliche

---

1) Ich nenne die Zellen Elementarorganismen, wie wir die Körper, welche bis jetzt chemisch nicht zerlegt worden sind, Elemente nennen. So wenig die Unzerlegbarkeit dieser bewiesen ist, so wenig können wir die Möglichkeit in Abrede stellen, dass nicht vielleicht die Zellen selbst noch wiederum aus anderen, noch kleineren Organismen zusammengesetzt sind, welche zu ihnen in einem ähnlichen Verhältniss stehen, wie die Zellen zum Gesammtorganismus; aber wir haben bis jetzt keinen Grund dies anzunehmen.

Gebilde auf diese Weise entstünden, so würden [382] wir nach unserer jetzigen Art die Dinge anzusehen eine solche Beobachtung wahrscheinlich ganz anders deuten. Wir würden geneigt sein zu schliessen, dass jene Zellen gar nicht die vielberufenen Elementarorganismen darstellen, sondern dass wir vielmehr als solche die Moleküle ansprechen müssen, durch deren Vereinigung sie entstanden.

Als morphologische Bestandtheile der Zelle erkannte *Schwann* im Anschluss an die Botaniker die Zellenmembran, den Zelleninhalt, den Kern und das Kernkörperchen. Schon damals hatte es seine Schwierigkeit, alle Theile aller Arten von Zellen in diesem Schema eines mit Flüssigkeit gefüllten Bläschens mit Kern und Kernkörperchen unterzubringen. Ganz abgesehen von den faserigen und röhrigen Geweben, welche durch Metamorphose von Zellen entstehen, kannte man Gewebtheile, welche noch ganz auffällig den Typus der Zellen darboten, aber offenbar einen complicirteren Bau hatten als ihn die Lineamente unseres Schemas zeichnen. Ich meine die Flimmerzellen. Sollte man die Cilien als Verlängerungen der Zellenmembran betrachten, als Aussackungen, in welche hinein sich der Zelleninhalt erstreckt? Diese Anschauung war offenbar wenig ansprechend und doch liess das strenge Schema kaum für eine andere Raum. In neuerer Zeit ist von *Funke* und *Kölliker* ein Gebilde an den Cylinderzellen der Darmzotten näher beschrieben worden, das sie für einen verdickten und porösen Theil der Zellenmembran halten. Das besagte Gebilde hat aber mit der Zellenmembran nichts zu schaffen. Schon ehe ich dasselbe in seiner Eigenthümlichkeit kannte, habe ich aus dem Verhalten eben jener Zellen bei der Resorption und aus den Veränderungen, welche sie durch Wasserzusatz erleiden, ermittelt, dass ihre Membran die Gestalt einer gegen die Darmhöhle offenen Tute, eines Kegelmantels hat. Während der Untersuchungen, die *Brettauer* und *Steinach* in meinem Laboratorium vornahmen, habe ich mich auf das Entschiedenste überzeugt, dass die Darstellung, wie sie dann von diesen gegeben wurde, die richtige ist; die Streifen des Gebildes, welches ich als Stäbchenorgan bezeichnen will, rühren nicht von Porencanälen in einer zusammenhängenden Masse her, sondern sind der Ausdruck einer Zusammensetzung aus einzelnen prismatischen Stücken und diese sind kein Theil der Zellmembran, sondern stehen in directer Verbindung mit dem Inhalte, denn wenn sich dieser aus jener loslöst, so bleiben sie an ihm haften

und die [383] Membran schwimmt als leere Tute daneben, ohne dass jemals ein Theil des Stäbchenorgans mit ihr in Verbindung bliebe. Spätere Untersuchungen, welche ich zum Theil mit noch vollkommeneren Vergrösserungsmitteln, mit *Hartnack*'s Immersionssystem Nr. 10, vorgenommen habe, dienten nur dazu, die Angaben von *Brettauer* und *Steinach* zu bestätigen. Auch da, wo man sich bemüht, alle Zellen in jenes Schema einzuzwängen, wird man die ernsten Schwierigkeiten nicht verkennen, welche dasselbe darbietet, wenn es sich nicht allein um die Zellen als solche handelt, sondern auch um die Dinge, welche aus ihnen werden und hervorgehen. Die Literatur der Geweblehre ist eine wahre Musterkarte von mehr oder weniger gelungenen oder misslungenen Versuchen, diese Schwierigkeiten zu überwinden. Aber nicht allein die zusammenhängenden Gewebe bieten sie dar; es giebt isolirte Gebilde, bei denen sie nicht geringer sind. Die Spermatozoiden sind in ihrer einfachsten Form Fäden, die an einem Ende dicker und steifer sind als an dem andern; weder Membran noch Inhalt, weder Kern noch Kernkörperchen lässt sich an ihnen demonstriren, ja dies gelingt selbst da nicht, wo sich schon deutlich der starre Körper und der bewegliche Schweif gegen einander abgrenzen. Betrachten wir andererseits die Spermatozoiden eines Salamanders, so finden wir hier die Gestalt so complicirt und vom gewohnten Zellentypus so abweichend, dass wir sie wiederum nicht auf denselben zurückführen können. Wir sehen an dem vorderen Ende des länglichen Leibes eine feine Spitze, die nach *Czermak*'s Abbildung[1]) bei *Salamandra atra* noch einen kleinen Widerhaken trägt, hinten einen Schweif, der eine dünne Membran nach Art einer Flosse trägt, welche sich in fortwährender, zierlicher, wellenförmiger Bewegung befindet. Alles das sehen wir an Gebilden, die wir nicht als aus Zellen zusammengesetzt, sondern als Nachkommenschaft einzelner Zellen erkannt haben.

Was berechtigt uns denn zu glauben, dass in unserem Schema die Organisation der Zelle selbst erschöpft sei? Ist es ein Grund zu solcher Annahme, wenn wir auch mit unseren jetzigen starken Vergrösserungen, die uns verhältnissmässig riesige Netzhautbilder von den einzelnen Zellen geben, kein

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, Bd. II, Taf. XXI, Fig. 3.

weiteres Detail an ihnen erkennen? Was haben wir als Knaben von der Organisation der Quallen erkannt, [**384**] die wir beim Baden fingen, die wir in der Hand hielten, drehten und wendeten, und von denen wir unsern blossen Augen grössere Netzhautbilder verschaffen konnten, als sie uns die besten Mikroskope von den Zellen geben? Was haben wir anders in ihnen gesehen als einen tellerförmigen Gallertklumpen mit einigen gleichfalls gallertartigen Fortsätzen? Sollten wir uns verhehlen, dass verschiedene Umstände das Feld unserer mikroskopischen Wahrnehmungen beschränken?

Es ist zunächst klar, dass wir alle diejenigen Objecte nicht sehen werden, welche sich von ihrer Umgebung weder durch ihr Absorptionsvermögen, noch durch ihren Brechungsindex unterscheiden; aber uns werden auch manche entgehen, von denen man dies nicht sagen kann.

Der Unterschied im Absorptionsvermögen muss schon ein beträchtlicher sein, um die Sichtbarkeit des Objects zu begründen, denn nur dann kann bei der ausserordentlichen Dünnheit der durchwanderten Schichten ein merklicher Unterschied in Licht und Farbe eintreten. Solche beträchtliche Unterschiede nun ergeben sich in der That an einzelnen Bestandtheilen der Zellen ziemlich häufig und diese sind es dann, welche wir mit dem Namen der Pigmentkörner oder der Pigmentmassen bezeichnen, Namen, die eben nichts anderes sagen wollen, als dass diese Theile sich von dem übrigen Material der Zelle in ihrem Vermögen das Licht zu absorbiren wesentlich unterscheiden.

Im Uebrigen ist die Absorption in eben diesem Materiale so gleichförmig, dass uns aus ihr kein Hülfsmittel für das Erkennen erwächst; indem, wie gesagt, wegen der ausserordentlichen Dünnheit der Schichten, welche das Licht zu durchwandern hat, nur sehr beträchtliche Unterschiede zur Wirkung kommen können, kleine vollständig unmerklich sind.

Die wesentliche Basis für alles mikroskopische Unterscheiden bleibt deshalb immer die Verschiedenheit des Brechungsindex, insofern dieselbe Brechung und Reflexion hervorruft. Ich sage nicht auch Beugung, weil diese nur zur Anschauung kommt unter Umständen, unter denen unsere mikroskopischen Wahrnehmungen nicht mehr verlässlich sind. Die Erscheinungen der Brechung und der Reflexion sind aber in Rücksicht auf ihre Deutlichkeit unter anderem auch in sehr wesentlicher Weise abhängig von dem Grade der Verschiedenheit

[385] der Brechungsindices zweier an einander grenzenden Medien. Diese Verschiedenheit kann, obgleich unleugbar vorhanden, einen so geringen Grad haben, dass Formen und Dimensionen nicht mehr zur Anschauung kommen, welche bei einem stärkeren Unterschiede der Brechungsindices uns nicht hätten entgehen können. Wohl jeder Mikroskopiker wird sich beim Infiltriren mikroskopischer Präparate mit Flüssigkeiten von verschiedener optischer Dichtigkeit hinreichend hiervon überzeugt haben. Bringen wir hierzu noch die Undeutlichkeit, welche durch die Uebereinanderlagerung verschieden brechender und unregelmässig gestalteter Massen hervorgebracht wird; so werden wir einsehen, weshalb wir auch bei grossen Bildern nicht zu sicher auf Enthüllung von Einzelheiten rechnen dürfen. Endlich sind es die Dimensionen selbst, welche unseren Wahrnehmungen Schranken setzen, zeitlich, insofern unsere Mikroskope ihnen noch nicht gewachsen sind, für immer, insofern die Wirkung von ihnen abhängt, welche körperliche Theile auf die Lichtwellen auszuüben vermögen.

Ich kann mir auch nicht wohl denken, dass irgend ein Mikrograph im Ernste glaube, unsere mikroskopischen Bilder gäben eine auch nur annähernd vollständige Uebersicht über den Bau der Zellen, und wenn gesagt wird: »die Zellenmembran ist structurlos, das Protoplasma ist eine homogene Masse u. s. w., so soll dies wohl nichts anderes heissen als: die Zellenmembran erscheint uns structurlos, das Protoplasma erscheint uns als eine homogene Masse. Wollte man diese Ausdrücke in strengerem Sinne gebrauchen, so würde dies eine Beschränktheit des Gesichtskreises verrathen, wie ich sie bei keinem Fachgenossen voraussetzen möchte.

So empfehlenswerth es nun auch ist, sich überall streng an das unmittelbar Beobachtete zu halten, so nothwendig ist es, das geistige Auge nicht gegen das zu verschliessen, was der Beobachtung unzugänglich ist, damit wir nicht den Werth unserer mikroskopischen Wahrnehmungen überschätzen und mit Hülfe der Schlagwörter Zellenmembran, Zelleninhalt und Zellenkern physiologische Doctrinen aufbauen, welchen ein kommendes Geschlecht die Anerkennung versagen möchte.

Fragen wir uns also zunächst, was wir über die feinere der directen Beobachtung unzugängliche Structur der Zellen erschliessen können. Structur, wenn man darunter nichts anderes versteht als [386] eine bestimmte Art der Zusammenordnung der kleinsten Theile, derjenigen Theile, welche, wenn

der Körper sich in der Wärme ausdehnt, nicht mehr ihre Grösse, sondern nur noch ihre Lage ändern, Structur in diesem Sinne kommt sicher allen chemisch zusammengesetzten Körpern zu und auch denjenigen, welche wir als chemisch einfache betrachten, können wir sie nicht ohne weiteres absprechen; denn es ist möglich, dass einige von ihnen sich nur durch die Art, wie die kleinsten Theile mit einander zu grösseren Gruppen vereinigt sind, dass sie sich nur durch die Structur des Moleküls, das wir bis jetzt fälschlich als ihr Atom betrachten, von einander unterscheiden. Von den organischen Substanzen, welche in die Zusammensetzung der Zelle eingehen, wissen wir, dass die Structur ihres Moleküls schon eine sehr complicirte ist, ihr hohes Atomgewicht zeigt, dass es aus zahlreichen Bausteinen zusammengefügt wurde. Aber wir können uns mit einer solchen, wenn auch complicirten Molekularstructur für die Zelle nicht begnügen. Wir können uns keine lebende vegetirende Zelle denken mit homogenem Kern und homogener Membram und einer blossen Eiweisslösung als Inhalt, denn wir nehmen diejenigen Erscheinungen, welche wir als Lebenserscheinungen bezeichnen, am Eiweisse als solchem durchaus nicht wahr. Wir müssen deshalb den lebenden Zellen, abgesehen von der Molekularstructur der organischen Verbindungen, welche sie enthält, noch eine andere und in anderer Weise complicirte Structur zuschreiben, und diese ist es, welche wir mit dem Namen Organisation bezeichnen.

Die zusammengesetzten Moleküle der organischen Verbindungen sind hier nur die Werkstücke, die nicht in einförmiger Weise eines neben dem andern aufgeschichtet, sondern zu einem lebendigen Baue kunstreich zusammengefügt sind.

Wir sehen an den Zellen nicht allein, dass sie wachsen, an Volum zunehmen, indem sie fremde Stoffe aufsaugen, wir nehmen noch mannigfache andere Thätigkeiten an ihnen wahr: an der einen, dass sie sich continuirlich bewegt, an der andern, dass sie auf einen Reiz zuckend ihre Gestalt verändert, an einer dritten, dass sie Impulse aussendet, welche in lebendigen Leitungen fortgeführt ihre Wirkung in entfernten Regionen des Organismus ausüben.

Wir sehen in den zusammengesetzten Organismen verschiedene Wirkungen von verschiedenen Theilen ausgehen, welche wir [387] als Organe und Systeme des Körpers bezeichnen, und wir können es uns kaum anders denken, als

dass auch in der Zelle die verschiedenen Wirkungen von verschieden beschaffenen, von verschieden gebauten Theilen ausgehen.

Wir erwarten natürlich nicht, dass sich die Organe und Systeme wiederholen, wie wir sie im menschlichen Gesammtorganismus finden; wir wissen, dass dies selbst bei den niederen Thieren nicht mehr der Fall ist, wir wissen, dass mit der Abnahme der Dimensionen sich die Natur der Mittel ändert, durch welche die Kräfte der anorganischen Welt dem Organismus dienstbar gemacht werden. Aber abgesehen von den hierdurch bedingten Verschiedenheiten und abgesehen von der geringeren Summe der zusammensetzenden Theile haben wir kein Recht, einen jener kleinen Organismen für minder kunstvoll gebaut zu halten als einen andern von grösseren Dimensionen, und dies Bewusstsein müssen wir nicht allein mit zu der Untersuchung der kleinsten Thiere bringen, sondern auch mit zu der Untersuchung der thierischen und auch der pflanzlichen Zellen. Wir müssen in der Zelle immer einen kleinen Thierleib sehen und dürfen die Analogien, welche zwischen ihr und den kleinsten Thierformen existiren, niemals aus den Augen lassen.

Die Aehnlichkeit zwischen einer Amöbe und einem Krebsblutkörperchen, zwischen einem Infusorium und einem Spermatozoid oder einer losgerissenen Flimmerzelle könnten wir, wenn sie isolirt da stände, für etwas äusserliches, zufälliges ansehen; aber die einzelligen Pflanzen weisen geradezu den unmittelbaren Zusammenhang nach zwischen frei lebenden Organismen und solchen, die nur als integrirende Theile eines grösseren Ganzen ihr Dasein fristen können.

Dies ist der Standpunkt, auf den ich glaubte den Leser hinführen zu müssen, ehe ich beginne ihm gegenüber einige Fragen zu besprechen, von denen es wünschenswerth ist, dass sie durch das Zusammenwirken vieler und durch leidenschaftslose, durch keine hergebrachten Vorurtheile beengte Discussion ihrer endlichen Beantwortung zugeführt werden.

Die Zellmembran.

Es ist wohl jetzt allgemein anerkannt, dass die Cellulosemembran der Pflanzenzelle in der Membran der thierischen Zelle [**388**] nicht ihr Analogon findet. Die Cellulosemembran ist, wie die Kalkschale das Haus der Schnecke, so das Haus

der Pflanzenzelle, später ihr Sarg; die Membran der Thierzelle ist zunächst ihre Haut. Dies führt uns zu der Frage, ob eine Membran nothwendiges Attribut der Thierzelle sei oder nicht. Wenn man unter der Haut weiter nichts versteht als die äusserste Schicht, ohne zu verlangen, dass diese sich in Consistenz oder Zusammensetzung merklich vom zunächst darunter liegenden unterscheiden soll, so ist nichts dagegen einzuwenden, dass man einer jeden Zelle eine solche Haut zuschreibe. Man sagt hiermit nichts anders aus als die allgemein anerkannte Wahrheit, dass sich an jedem begrenzten Körper die Oberfläche und das Innere unterscheiden lassen. Wenn man aber verlangt, dass diese Haut, wie es um den Namen Membran zu rechtfertigen billig der Fall sein soll, eine beträchtlich grössere Festigkeit habe, um dem darunter liegenden Zusammenhang und Schutz zu verleihen, so muss ich mich ganz der Ansicht von *Max Schultze*[1]) anschliessen, dass eine solche Membran nicht nothwendiges Attribut der Zelle sei, ja ihr in ihrer ersten Jugend wahrscheinlich allgemein nicht zukomme, sondern sich da, wo sie sich findet, erst später durch einen allmählichen Verdichtungs- und Verhärtungsprocess gebildet habe.

Wo man eine solche Membran annehmen will, muss dieselbe erwiesen werden und man darf es damit nicht im Vertrauen auf die Richtigkeit der Dogmen der Zellentheorie leicht nehmen, sondern muss die Mittel, durch welche der Nachweis geführt werden soll, einer sorgfältigen Kritik unterwerfen. Als eins derselben hat immer das Verhalten der Zellen gegen Wasser gegolten und *C. H. Schultz* und *Schwann* haben dasselbe benutzt, um zu beweisen, dass die Blutkörperchen eine solche Membran besitzen. *Schwann* sagt[2]): »Dass die Blutkörperchen Bläschen sind, wurde zuerst von *C. H. Schultz* bewiesen. Er stützt sich besonders auf ihr Verhalten gegen Wasser; wo sie ihren Farbestoff verlieren, aufquellen, rund werden und wo er dann oft den Kern innerhalb des runden sehr durchsichtigen Bläschens herumrollen sah. Das letzte würde für sich allein schon entscheidend sein. Ich habe dies zwar noch nicht [389] beobachtet, der Kern hängt vielmehr in den meisten Fällen bestimmt an der inneren Wandfläche

---

1) Ueber Muskelkörperchen und das was man eine Zelle zu nennen habe; in *Reichert* und *du Bois* Archiv 1861.

2) L. c. S. 75.

des Bläschens excentrisch wie bei allen Zellen, doch ist es wahrscheinlich, dass er sich auch zuweilen lösen kann. Aber schon das Aufquellen und rund werden der Blutkörperchen macht ihre Natur als Zellen sehr wahrscheinlich. Wäre die Hülle der Blutkörperchen nicht ein abgeplattetes Bläschen, so könnte es im Wasser zwar farblos werden und aufquellen, aber es würde seine platte Form wie ein aufquellender Schwamm behalten«. Das Herumrollen des Kerns in dem Blutkörperchen habe ich auch niemals gesehen und ich glaube die meisten Fachgenossen werden mir beistimmen, wenn ich die Meinung äussere, dass jene Angabe auf einer Täuschung beruhe. Für mich hat nur der von *Schwann* zuletzt angeführte Grund Bedeutung, aber auch dieser ist nicht absolut stichhaltig. Es ist bekannt, dass verschiedene organische Gebilde vermöge ihrer feineren Structur in verschiedenen Richtungen verschieden stark aufquellen und dies kann also auch bei den Blutkörperchen der Fall sein. Selbst dass der Durchmesser der aus den Blutkörperchen im Wasser entstehenden Kugeln kleiner ist, als der grösste Durchmesser der Scheibe, aus der die Kugel entstand, ist für die Existenz der Membran nicht beweisend. Auch dies kann Folge feinerer Structurverhältnisse sein. Man denke sich z. B. statt der einen Scheibe ein scheibenförmiges System von sehr vielen ähnlichen reihen- und schichtweise mit einander verbundenen scheibenförmigen Bläschen, so wird auch dies durch Aufquellen in analoger Weise in die Kugelform übergehen. Wenn man aber auch die Existenz einer äusseren festeren Hülle zugeben will, so beweist doch das Verhalten gegen Wasser immer noch keineswegs, was es beweisen sollte, nämlich dass die Blutkörper Bläschen seien, deren Inhalt abgesehen vom Kern flüssig ist. Denn die Erscheinungen könnten äusserlich dieselben sein, wenn statt einer Flüssigkeit eine weiche und imbibitionsfähige Substanz von jener festeren Hülle umgeben wäre. Es könnten in dieser imbibitionsfähigen Substanz mannigfache Structurverhältnisse vorhanden sein, ohne das Resultat des Quellungsprocesses äusserlich zu verändern. Man wird hiernach zugeben müssen, dass die Einstimmigkeit, mit der die Bläschennatur der Blutkörperchen geraume Zeit gelehrt wurde, mehr dem Schweigen der Gegner als der Kraft der Argumente der Vertheidiger zu danken war.

[390] So wenig nun die Quellungserscheinungen, welche man an den Blutkörperchen wahrnimmt, ihre Bläschennatur

darthun oder auch nur hinreichen die Existenz einer Membran an ihnen mit Bestimmtheit nachzuweisen, so wenig können analoge Erscheinungen an anderen Zellen für denselben Zweck benutzt werden. Ein anderes Mittel, dessen man sich bedient hat, um die Zellmembran zu erkennen, ist die Faltenbildung. In Rücksicht auf diese muss man wohl bedenken, dass sie niemals beweist, dass ein flüssiger Inhalt von einer festen Hülle umgeben vorliege, sondern nur dass das angewendete Reagens das Innere der Zelle stärker schrumpfen mache als die äussere oder äusserste Schicht derselben. Dies wird freilich wohl im Allgemeinen seinen Grund in einer grösseren Festigkeit der äusseren Theile haben, aber damit ist noch nicht ausgemacht, dass sich dieselbe nicht auch stellenweise weiter in die Tiefe erstreckt und dass nicht das faltenbildende anstatt einer blossen Haut vielmehr die Hauptmasse des ganzen Zellenleibes sei, welcher um einen oder mehrere Hohlräume oder wasserreiche Weichgebilde zusammenfällt. Endlich hat man sich wohl zu hüten, ob die grössere Consistenz der Aussenschicht nicht etwa erst durch die Einwirkung des Reagens hervorgerufen ist.

Ein drittes aber gleichfalls nur bedingungsweise brauchbares Mittel hat die Molekularbewegung an die Hand gegeben. Schon *Schwann* führt als Beweis für die Zellennatur der Pigmentzellen an, dass man eine Molekularbewegung, wie sie die Pigmentkörner frei im Wasser zeigen, schon innerhalb der Zelle wahrnehme. Es ist aber wohl zu bemerken, dass nicht jede Art von Bewegung kleiner Körnchen innerhalb einer Zelle dafür spricht, dass sie ein Bläschen mit flüssigem Inhalt sei. Es können erstens Bewegungen von Körnchen innerhalb gewisser Grenzen stattfinden in Canälen im Zellenleibe oder in Höhlen, welche keine allgemeine Zellenhöhle sind, und zweitens können sich Körner bewegen dadurch, dass sie mit sich bewegenden Theilen des Zellenleibes in Verbindung sind.

Die schönste Molekularbewegung, die ich in vom menschlichen Körper herrührenden Zellen gesehen habe, zeigen die Speichelkörperchen, und doch habe ich mich bis jetzt keineswegs überzeugen können, dass sie hohle Bläschen mit einem flüssigen Inhalte sind; denn wenn man sie quetscht, so fliessen die Körner nicht aus. Der ganze Körper wird in einen flachen Kuchen zusammengedrückt, in [391] welchem die Körnchen regungslos liegen bleiben. Auch wenn man das

Deckglas hebt und wieder mehr Flüssigkeit zulässt, fängt in solchen gequetschten Speichelkörperchen die Molekularbewegung nicht wieder an.

Grosser Werth wird von Einzelnen dem sogenannten Abheben der Zellenmembran auf Wasserzusatz beigemessen. Das Wasser soll eindringen zwischen Inhalt und Membran und letztere in Form einer Blase herausbauchen; mir aber scheint dies von allen unsicheren Kennzeichen das unsicherste. Es ist bekannt, dass aus den Zellen auf Wasserzusatz bisweilen tropfenartige Gebilde hervortreten, welche den Schein einer abgehobenen Zellmembran so täuschend hervorbringen, dass selbst sehr berühmte und ausgezeichnete Mikroskopiker sich dadurch haben irre führen lassen. Ja selbst ein doppelter Umriss an einer auf Wasserzusatz entstehenden Ausbauchung kann das Vorhandensein einer Membran nicht beweisen; denn es ist bekannt, dass manche thierische Gebilde auf Wasserzusatz sogenannte Vacuolen bilden, d. h. dass sich das Wasser in einzelnen Räumen im Innern in Tropfenform anhäuft und durch seine Anhäufung die umgebende, den Eindruck einer zähflüssigen Masse machenden Substanz auseinander treibt. Eine solche Vacuole braucht nun nur am Rande und von einer sehr dünnen Plasmaschicht bedeckt vorzukommen, um den Schein einer abgehobenen Membran hervorzubringen.

Der sicherste Weg, sich von der Existenz der Zellenmembran zu überzeugen, ist offenbar der, dass man die Membran vollständig isolirt. Dies gelingt aber, so viel ich weiss, ohne dass man den Inhalt verletzt, nur bei einer Art von Zellen, bei denen des Cylinderepitheliums, aber gerade bei diesen zeigt es sich, wie aus der Abhandlung von *Brettauer* und *Steinach* bekannt ist, dass die Membran nicht die ganze Zelle gleichmässig umgiebt, sondern nur einen tütenförmigen Mantel um dieselbe bildet, und darauf beruht eben die Möglichkeit hier ausnahmsweise die Zellmembran ohne mechanische Verletzung des Inhaltes zu isoliren.

Durch Zerquetschen der Zellen und hierdurch bewirkte Entleerung der Membran ist sie mehrfach demonstrirt worden, so von *Purkiné* und *Raschkow*[1]) am Pflasterepithelium und von *Schwann* [392] an der Knorpelzelle. Ohne die Existenz der Membran an weiter entwickelten Zellen dieser Art in

---

[1]) Meletem. circa mammalium dentium evolutionem. Vratislaviae 1835.

Abrede zu stellen, kann ich doch diesem Hülfsmittel nicht unter allen Umständen volle Beweiskraft zuschreiben, denn Flüssigkeit wird man aus jedem Zellenleibe, den man quetscht, herauspressen und ob das zurückgebliebene eine blosse Zellenmembran ist, oder ob nicht vielmehr die zusammenhängende Hauptmasse der in verschiedenen Regionen des Zellenleibes vertheilten festen Theile, das ist häufig sehr schwer und kaum mit einiger Sicherheit zu beurtheilen.

Diese Art, sich von der Existenz der Zellenmembran zu überzeugen, von der ich nun zuletzt sprechen will, weil sich daran gewisse andere Betrachtungen knüpfen, besteht darin, dass man sie an der unversehrten Zelle an ihren Umrissen erkennt. Es ist hier begreiflich nicht allein nöthig, dass sie sich in Rücksicht auf ihre Dichtigkeit hinreichend von dem Zelleninhalt unterscheide, sondern auch, dass sie eine gewisse Dicke habe, denn ein einfacher Contour kann an und für sich niemals die Diagnose der Membran begründen, es müssen deren immer zwei vorhanden sein, von denen einer die äussere, der andere die innere Begrenzung darstellt.

Manche Mikroskopiker haben, offenbar in der Voraussetzung, dass der Zelleninhalt eine sich durch ihren Brechungsindex wenig von dem umgebenden Medium unterscheidende Flüssigkeit sei, schon aus dem Contour auf eine Membran geschlossen; dies ist völlig unerlaubt unter der Voraussetzung, welche ich oben zu rechtfertigen gesucht habe, dass nämlich der Zelleninhalt von Anfang ein Aufbau aus festen und flüssigen Theilen ist; denn der Unterschied zwischen seiner Dichtigkeit und der des umgebenden Mediums wird auch ohne umhüllende Membran hinreichenden Grund für den einen Umriss abgeben. Erst durch den zweiten Umriss kann erkannt werden, dass ein Dichtigkeitsunterschied zwischen äusserer Umhüllung und Inhalt besteht. Es versteht sich von selbst, dass man hierbei die Vergrösserung nicht durch starke Oculare über die reellen Kräfte des Instruments treiben darf, weil sonst ein zweiter Umriss entsteht, der seinen Grund nicht mehr in der Natur der Zelle, sondern in den Fehlern des optischen Apparates findet. Es werden deshalb auf diese Weise auch nur Zellmembranen von einiger Dicke erkannt werden können.

[**393**] Hier, wo wir von dicken Zellmembranen sprechen, ist der Ort uns ausführlich darüber zu verständigen, was wir unter verdickten Zellmembranen und unter Intercellularsubstanz

verstehen. Bei den Pflanzen ist die Begriffsbestimmung der verdickten Zellmembran leicht, indem schon die Cellulosemembran an sich als eine Ausscheidung, als ein von dem ursprünglichen Zellenleibe völlig verschiedenes, ihm äusserlich aufliegendes Product betrachtet werden muss, dessen Verdickung nur durch Anlagerung von wiederum anders zusammengesetzten secundären Schichten zu Stande kommt. Nicht so verhält es sich bei den thierischen Zellen. Hier ist keine Membran, die der Zelle als solcher entgegengesetzt werden könnte, sie ist ein Theil ihrer selbst, und wenn sie dicker wird, so geschieht dies entweder indem sie wächst wie ein anderer Theil der Zelle oder indem neue Theile des Zellenleibes in den Verhärtungsprocess hineingezogen werden, durch den sie selbst gebildet worden ist. Dieser Verhärtungsprocess scheint mir in unmittelbarem Zusammenhange zu stehen mit der Bildung gewisser sogenannter Intercellularsubstanzen.

Die Lehre von den Intercellularsubstanzen, wie sie gewöhnlich vorgetragen wird, scheint mir eine Irrlehre zu sein und ich hege über die Entwickelung derselben eine Ansicht, welche sich der von *Max Schultze* in seiner oben erwähnten Abhandlung vorgetragenen eng anschliesst. Um dies zu rechtfertigen muss ich zunächst auf die beiden Grundirrthümer hinweisen, unter deren Einfluss die gangbare Lehre entstanden ist. Der erste ist der von der freien exogenen Zellenbildung. Man liess die Knorpelzellen frei in der Intercellularsubstanz entstehen, und hiernach musste man also die Intercellularsubstanz nicht nur als etwas von ihnen Verschiedenes, sondern auch als etwas theilweise vor ihnen Existirendes ansehen. Zweitens war man überzeugt, dass die Zellmembran sich früher bilde als der Zelleninhalt und diesen mithin von vornherein umhülle; also konnte das, was nach aussen von ihr lag, nicht mehr zur Zelle gehören und erhielt den Namen der Intercellularsubstanz.

Wir sind von der Lehre von der exogenen Zellenbildung zurückgekommen und wissen speciell aus der Beobachtung des Knorpels, dass hier die neugebildeten Zellen ursprünglich die eine neben der andern liegen. Wir müssten also annehmen, dass von anders woher Intercellularsubstanz nachträglich zwischen sie ergossen wird und [**394**] sie aus einander drängt. Es würde hiernach die Intercellularsubstanz als ein Gebilde ohne organische Structur erscheinen, das nur durch

eine Art Eindickungs- und Gerinnungsprocess aus dem flüssigen in den festen Zustand überginge, denn wir kennen bis jetzt keine Art von Organisation, welche sich im Thierkörper unabhängig von den Zellen aufbaut, und sind durch nichts berechtigt eine solche anzunehmen. Viel wahrscheinlicher finde ich es, dass auch die Bildung der Intercellularsubstanz von den Zellen ausgeht, und dieser Annahme steht kein Hinderniss mehr entgegen, wenn wir nicht mehr annehmen, dass die Zellmembran präformirt sei. Denken wir uns, dass die äusserste Schicht jeder Knorpelzelle sich unter stetem Wachsen in die Substanz umwandle, welche wir Knorpelsubstanz im engeren Sinne des Wortes nennen, und dass sie sich dabei mit den gleichen Schichten der benachbarten Zellen in der Weise verbinde, dass sich die Grenze nicht mehr unterscheiden lässt, so haben wir die Intercellularsubstanz, so wie sie die mikroskopische Untersuchung nachweist. Ist der nicht mit in diese Metamorphose hineingezogene Theil des Zellenleibes dann noch mit einer eigenen anders lichtbrechenden Schicht, Zellmembran, Knorpelzellenkapsel, umgeben, so ist dies eine secundäre Bildung, zu der entweder der bereits metamorphosirte oder der noch nicht metamorphosirte Theil die Grundlage geliefert hatte. Nach dem, was ich bis jetzt über die Entwickelung der Knorpel beobachtet habe, erscheint mir ersteres wahrscheinlicher. Es scheint mir als ob bei dieser Art der Entwickelung der Intercellularsubstanz die den nicht metamorphosirten Theil des Zellenleibes umgebende Schicht fester als das Uebrige wird, so die Kapsel durch Differenzirung entsteht und durch ihren inneren und äusseren Umriss sichtbar wird, ja sich eventuell von der Umgebung so weit lösen kann, dass es möglich ist sie durch mechanische Gewalt zu isoliren. Die Ansammlung von freier Flüssigkeit innerhalb der Knorpelzellen, wie sie schon *Schwann*[1]) beobachtete, halte ich ebenfalls für Folge einer secundären Metamorphose.

Aus dieser Ansicht über die Entwickelung der Intercellularsubstanz lässt sich, wenn sie als richtig anerkannt wird, wie ich glaube auch in Rücksicht auf die bekannte Controverse über die Entwickelung des Bindegewebes eine Verständigung ableiten, auf die *Max* [395] *Schultze* auch schon hingewiesen hat. Dass die Fasermasse desselben sich zwischen den Zellen aus einer von ihnen verschiedenen und ihnen

1) L. c. S. 114.

fremden Intercellularsubstanz entwickeln sollte, davon habe ich mich niemals überzeugen können; die Bilder, welche ich von sich entwickelnden Sehnen erhalten, haben mich zu der gerade entgegengesetzten Ansicht geführt. Ich stütze mich hier nicht allein auf eigene Untersuchungen, sondern auch auf die des Herrn Dr. *Rollett*, der mir schon vor Jahren, als er sich mit seinen Untersuchungen über das Bindegewebe beschäftigte, ein vom Hühnchen im Ei entnommenes Präparat zeigte, an welchem sich der Zusammenhang der Fasern mit den Zellen, aus denen sie hervorgegangen waren, und mit deren Kernen auf das Unzweifelhafteste verfolgen liess. Andererseits lässt sich die unmittelbare Verbindung der Intercellularsubstanz des Knorpels mit und der unmittelbare Uebergang zu der Fasermasse des Bindegewebes durchaus nicht in Abrede stellen, was uns aber leicht erklärlich sein wird, wenn wir eben jene Intercellularsubstanz als ein ursprünglich auch aus den Zellen hervorgegangenes Product betrachten. *Virchow*'s Bindegewebskörperchen betrachte ich wiederum mit ihren Kernen als den Theil des Zellenleibes, der nicht mit in die collagene Metamorphose hineinbezogen worden ist. Dies sind die Bindegewebskörperchen, deren Analogie mit den Knochenkörperchen sich unzweifelhaft nachweisen lässt, während wir diese Analogie für andere Formen, welche auch unter dem Namen von Bindegewebskörperchen beschrieben sind, zurückweisen müssen. Solche Formen sind: Zellen mit Ausläufern, welche sich in elastische Fasern umwandeln, Zellen mit Ausläufern, die mit der Entwickelung der collagenen Substanz in keinem nachweisbaren Zusammenhange stehen und die entweder ihre Gestalt behalten oder deren weitere Metamorphose unbekannt ist; endlich verzweigte Hohlräume, deren Entstehung aus Zellen nicht nachgewiesen ist, Gewebslücken. Die Entwickelung des secundären Knochens ist der des Bindegewebes ganz gleich, nur dass hier weder gemeines Bindegewebe, noch fibröses Gewebe zu Stande kommt, indem die collagene Substanz sogleich durch Einlagerung von phosphorsaurem Kalk in Knochen übergeht. Die Analogie zwischen Knorpelkörperchen, Knochenkörperchen und Bindegewebskörperchen bleibt also hierbei vollkommen aufrecht. Ebenso aufrecht bleibt alles, was *Virchow* über die Rolle dieser Körperchen in pathologischen Processen gelehrt, und scheint [**396**] uns vollkommen verständlich, wenn wir berücksichtigen, dass das Reproductionsvermögen nur demjenigen Theile der

Zelle verbleiben kann, welcher noch einen der ursprünglichen Embryonalzelle analogen Organismus darstellt.

Ich habe in dem Bisherigen angenommen, die leim- und chondringebende Substanz entstünden durch Metamorphose eines Theiles des Zellenleibes; ich würde aber denjenigen nicht in schlagender Weise widerlegen können, welcher behaupten wollte, sie entstünden vielmehr als eine vom Zellenleibe ausgehende Neubildung auf der Oberfläche desselben. Am menschlichen Organismus, dessen Structur wir bis zu den Elementartheilen mit Erfolg studirt haben, ist es im Allgemeinen leicht zu sagen, was Metamorphose, was nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche Neubildung sei; anders aber verhält es sich mit der Zelle, deren Structurverhältnisse sich unsern Vergrösserungsmitteln bis auf ihre gröbsten Züge entziehen. Wie soll man hier bestimmen, in welcher Form die Zelle das Material für die Bildung der leimgebenden und der chondringebenden Substanz aufnimmt, in welcher Form sie es abgiebt? Die Cellulosemembran der Pflanzenzelle muss ich als Neubildung betrachten, denn sie besteht aus einem Materiale, das von dem des Zellenleibes seiner Natur nach von Grund aus verschieden ist. Eine Nöthigung der Art besteht aber für die besprochenen sogenannten Intercellularsubstanzen so wenig wie für die thierische Zellenmembran, denn obgleich das leimgebende und das chondringebende Gewebe chemisch verschieden sind von den Substanzen, welche die Hauptmasse des Zellenleibes ausmachen, so ist doch der Unterschied nicht von der Art, dass wir es für unmöglich halten sollten, dass die eine Substanz allmählich durch Aufnahme und Abgabe gewisser Stoffe in die andere umgewandelt werde. Wesentlich bestimmend für mich war der Umstand, dass namentlich beim Sehnengewebe ausser dem Kern nur ein so kleiner Theil des Zellenleibes zurückbleibt. Man kann dies freilich auch als Atrophie auffassen, aber da im Allgemeinen ein Wachsthum stattfand und der eine Theil abnahm, während der andere zunahm, schien es mir natürlicher anzunehmen, dass die Zunahme des letzteren auf Kosten des ersteren stattfinde. Man mag hierüber denken wie man will, es wird dies wohl noch geraume Zeit ohne praktische Folgen bleiben: aber wesentlich ist es, dass man sich entscheide, ob man die leimgebende und chondringebende Substanz als etwas ansehen [397] will, was theils vor den Zellen da war, theils nachträglich von aussen her zwischen sie ergossen wurde, oder

ob man sie ansieht als ein Product der Zellen, das wenigstens für eine Zeit lang, theilweise dauernd an den Lebenserscheinungen derselben Theil hat.

Kern und Kernkörperchen.

Wenn man auch jetzt nicht mehr überall anerkennt, dass der Kern bei der Bildung der Zelle diejenige Rolle spiele, welche ihm *Schleiden* und *Schwann* zuwiesen, so gilt bei den Histologen doch noch ziemlich allgemein der Satz, dass jede Zelle wenigstens in ihrer ersten Jugend einen Kern gehabt haben müsse, und auch diejenigen, welche zugeben, dass sich dies für die Blutkörperchen des Menschen und der Säugethiere nicht nachweisen lasse, sind doch der Ansicht, dass wenigstens jede productionsfähige Zelle, jede die eine andere hervorzubringen im Stande ist, einen Kern besitze.

Da es sich für uns nicht allein um thierische, sondern auch um pflanzliche Zellen handelt, so müssen wir auch diese mit in Betracht ziehen. Wenn wir uns nun hier streng an das Beobachtete halten, so ergiebt sich, dass zwar alle Zellen von phanerogamen Gewächsen in ihrer ersten Jugend Kerne haben, dass aber bei den Zellen der Kryptogamen dieselben theils vorhanden sind theils vermisst werden. Auch die Productionsfähigkeit kann man hier nicht von dem Vorhandensein von Kernen abhängig machen, da Vermehrung durch Theilung und Vermehrung durch Sprossenbildung ohne dieselben beobachtet worden ist. Es ist nun freilich zu berücksichtigen, dass der Kern einen Brechungsindex haben kann, der dem des Zelleninhaltes sehr nahe steht, und dass er hierdurch der Beobachtung entgehen würde; aber das kann keinen Grund abgeben seine Existenz anzunehmen, wo man ihn nicht sieht, so lange nicht deren Nothwendigkeit aus anderen Gründen nachgewiesen ist. So lange dies nicht geschehen ist, ist es meiner Ansicht nach nicht gerechtfertigt, dass man den Kern als wesentlichen und nothwendigen Bestandtheil in das Schema aufnimmt, welches man sich für den Elementarorganismus entwirft.

Bei der Vermehrung der Zellen durch Theilung hat man, wenn die neue Zelle einen Kern bekommen soll, manchmal Gelegenheit zu sehen, wie sich zuerst der Kern der alten theilt, noch ehe sich ihre [398] übrige Masse in zwei Hälften

sondert. Bei der freien (endogenen) Zellenbildung sieht man ferner wiederum von den Tochterzellen zuerst die Kerne und diese Art der Zellenvermehrung ist überhaupt an kernlosen Zellen niemals beobachtet worden. Dies hat Veranlassung gegeben, den Kernen eine besondere Function bei der Fortpflanzung der Zellen zuzuweisen, einer Ansicht, für welche vielleicht Manche in den Entdeckungen *Balbiani's* eine Bestätigung zu finden glauben, indem dieser bei den Infusorien den Kern als Eierstock, das Kernkörperchen als Hoden erkannte. Bei näherer Betrachtung aber beschränkt sich wieder die Analogie, welche man hier findet. *Balbiani* hat nirgends Selbstbefruchtung, Befruchtung des Eierstockes eines Individuums durch den Hoden desselben Individuums beobachtet, sondern nur gegenseitige Befruchtung durch Begattung. Da uns, abgesehen von den bekannten Befruchtungserscheinungen, deren Producte ganze zusammengesetzte Organismen sind, jeder Anhaltspunkt fehlt, eine solche bei den Zellen vorauszusetzen, so dürfen wir es auch nicht wagen, die morphologische Aehnlichkeit des Kerns der Infusorien mit dem Kern der Zellen für unsere physiologischen Zwecke zu verwerthen.

Man kann nicht behaupten, dass die Ansicht, der Kern spiele eine wichtige Rolle bei der Fortpflanzung, unrichtig sei; aber sie ist auch nicht so wahrscheinlich gemacht, dass dadurch die Allgemeinheit gerechtfertigt wäre, in der sie Geltung hat.

Was wollte man dagegen einwenden, wenn jemand behauptete, der Kern verhalte sich bei allen Arten der Fortpflanzung: Theilung, Sprossenbildung und endogener Zellenbildung[1]) vollkommen passiv? Was zunächst die Theilung anbelangt, so könnte er sich auf die immerhin zahlreichen Beispiele berufen, in denen dieselbe zugegebener Maassen ohne Intervention von Kernen stattfindet. Hier muss also

---

[1]) Unter endogener Zellenbildung verstehe ich ausschliesslich das, was von den Botanikern als freie Zellenbilduug bezeichnet wird: Bildung von Tochterzellen im Leibe der Mutterzellen, wie sie im Embryosack beobachtet wird. Ich bemerke dies deshalb, weil man bisweilen die Zellenbildung durch Theilung mit der endogenen Zellenbildung zusammengeworfen hat. Für mich liegt der wesentliche Unterschied darin, dass in dem einen Falle Zellen wie Embryonen im Mutterleibe entstehen und heranwachsen, in dem anderen Falle der Leib der Mutterzelle in Stücke zerfällt, die nun die zweite Generation darstellen.

die Theilung vom Protoplasma (für diejenigen, welche einen [399] Primordialschlauch annehmen, vom Protoplasma und Primordialschlauch) selbst ausgehen; warum soll dies nicht auch so sein, da, wo eine Theilung des Kerns stattfindet. Man braucht nur anzunehmen, dass durch das hereindrängende Protoplasma die Kernmasse in zwei oder mehr Theile abgeschnürt werde, noch ehe sich äusserlich eine Theilung des Zellenleibes sichtbar macht. Man kann hiergegen nicht geltend machen, dass das weiche Protoplasma ja nicht den harten Kern abschnüren könne; denn erstens ist es bekannt, dass man mit solchen Behauptungen, da wo es sich um Vegetationserscheinungen handelt, überhaupt sehr vorsichtig sein muss, und zweitens kann Niemand beweisen, dass der Kern zur Zeit, wo er sich theilt, hart sei. Muss man ihm nicht behufs der Selbsttheilung einen eben so schwachen Zusammenhang zuschreiben als behufs des Getheiltwerdens? Es ist überhaupt eine eigene Sache um die Consistenz des Kerns. Die Zellentheorie sieht ihn an als das erste feste Element der Zelle, und doch ist dies durch nichts erwiesen. Man kann den nicht widerlegen, der behauptet, der Kern sei von Hause aus eine sehr weiche Masse, eine Masse von geringerer Consistenz als das Protoplasma und er verhärte sich erst nachträglich, sei es an seiner Oberfläche (bläschenförmiger Kern), sei es in seiner ganzen Masse (massiver Kern). Man kann hiergegen nicht anführen, dass der Kern oft schon in jungen Zellen eine bedeutende Consistenz zeigt, denn im Allgemeinen ist diese geringer als bei alten, und man kann immer nur im Allgemeinen sagen, der Kern gehöre einer jungen Zelle an, niemals, er sei so jung, dass er sich unmöglich schon verhärtet haben könne, wenn er ursprünglich weich gewesen sei. Andererseits würden sich für jene Ansicht allerlei Wahrscheinlichkeitsgründe vorbringen lassen, z. B. 1. dass die hellen Kugeln, welche bei der Furchung entstehen und die Mütter aller thierischen Zellenkerne sind, offenbar eine sehr geringe Consistenz haben und erst nach Beendigung der Furchung als Kerne der Keimhautzellen erhärten, 2. dass häufig, namentlich die Kerne junger Zellen das Licht schwächer brechen als das umgebende Protoplasma und somit voraussichtlich auch weniger feste Bestandtheile enthalten als dieses, 3. dass es Zellenkerne giebt, z. B. in den Bewegungswülsten von *Mimosa pudica*, welche noch zur Zeit der vollen Entwickelung der Zelle eine sehr geringe Consistenz und tropfenartige Beschaffenheit haben.

[400] Ich führe diese Dinge an, um darauf aufmerksam zu machen, dass sich den gangbaren diametral entgegengesetzte Ansichten mindestens eben so plausibel machen lassen als jene.

Wer behauptet, dass der Kern sich bei der Fortpflanzung passiv verhält, könnte sich weiter in Rücksicht auf die Sprossenbildung wiederum darauf berufen, dass solche ganz ohne (sichtbaren) Kern von statten geht, z. B. bei der Bierhefe[1]), und endlich in Rücksicht auf die endogene Zellenbildung könnte er mit Recht sagen, dass keine einzige Thatsache vorliegt, welche eine active Theilnahme des Kerns der Mutterzelle an derselben beweist.

Erwähnen wir hier bei der endogenen Zellenbildung noch eines Dogmas der Zellentheorie, nämlich des, dass der Kern das erste Stück der Tochterzelle sei, welches gebildet wird, und überzeugen wir uns, dass auch dieses sich nicht beweisen lässt. Es ist wahr, die Kerne sind das erste, was man von den Tochterzellen wahrnimmt; aber beweist dies auch, dass es das erste sei, was gebildet wird? Die Kerne liegen im Protoplasma eingebettet und wer kann sagen, dass sich der Leib der Tochterzelle in ihrem ersten embryonalen Zustande, lange vorher, ehe eine Zellenmembran auch nur angelegt ist, von dem Leibe der Mutterzelle durch unsere optischen Hülfsmittel unterscheiden lasse? Man denke sich einmal folgenden Vorgang: Die erste Ablage der Tochterzelle sei eine kleine Masse von Protoplasma, welche sich als solche mit unseren Hülfsmitteln nicht von der Protoplasmamasse der Mutterzelle unterscheiden lässt. Diese dehne sich aus und bilde in ihrer

---

[1]) *Nägeli* sagt (Schleiden und Nägeli's Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik, Bd. I, S. 45): »Die Pilzzellen lassen hin und wieder kernartige Gebilde erkennen. Die Gährungspilze im Weinmost und in der Bierhefe zeigen oft regelmässig in jeder Zelle ein der Membran anliegendes kleines Kernchen von weisslichem Schleim«. Ohne behaupten zu wollen, dass *Nägeli* nicht wirkliche Kerne vor sich hatte, kann ich doch zwei Dinge mit grosser Sicherheit aussagen: Erstens, dass die von mir untersuchten Gährungspilze in voller Lebensthätigkeit und reichlich mit Sprossen verschiedener Grösse versehen waren, und zweitens, dass ich mit vollkommeneren Vergrösserungsmitteln ausgerüstet bin als die sind, in deren Besitz der berühmte Botaniker im Jahre 1844 sein konnte. Auch durch Jodtinctur konnte kein Kern sichtbar gemacht werden und eben so wenig durch Essigsäure. Körner von wechselnder Grösse und Zahl, wie sie mannigfach vorkommen, für Kerne anzusprechen, ist glaube ich Niemand berechtigt.

Mitte eine Höhle, gegen die sie sich dann durch eine Membran abgrenzt und in der sich früher oder später ein oder mehrere sichtbare Körperchen bilden. Das wäre der [401] Kern mit Kernkörperchen. Dieser wachse nun, während die ihn umgebende dünne Protoplasmaschicht, die eigentliche erste Anlage der Tochterzelle, sich von dem Protoplasma der Mutterzelle noch immer nicht unterscheiden lässt, weil beide einander unmittelbar berühren und durch keine anders brechende Grenzschicht von einander gesondert sind; dann endlich bilde sich die Zellenmembran, welche beide sichtbar von einander trennt. Würde dies nicht dieselbe Reihe von mikroskopischen Bildern geben, wie sie in der That beobachtet werden und wie sie in ganz entgegengesetzter Weise gedeutet worden sind? Ich glaube, dass diejenigen, welche sich nicht auf fremdes Zeugniss verlassen, sondern vorurtheilsfrei selbst beobachten, mir hiernach beistimmen werden, dass wir weder über die Entstehung, noch über die Function des Kerns irgend welche positive Kenntnisse haben, ja dass selbst die Constanz seines Vorkommens als wesentlichen Einschränkungen unterworfen erscheint, wenn man, was doch nicht zu vermeiden ist, die Zellen der Kryptogamen mit in Betracht zieht und nicht von vorn herein voraussetzt, dass der Kern auch da, wo man ihn nicht sieht, dennoch vorhanden sein müsse.

Der Zelleninhalt.

In Rücksicht auf den Zelleninhalt werden sich, wie mir scheint, unsere Vorstellungen am meisten von den ursprünglichen Grundsätzen der Zellentheorie entfernen müssen. Nach ihnen war der Zelleninhalt eine Flüssigkeit, welche sich zwischen Kern und Membran ansammelte, für uns ist der Zelleninhalt die Hauptmasse des Zellenleibes selbst, ein complicirter Aufbau aus festen und flüssigen Theilen. Wenn man uns fragt, ob wir, da wir den Zelleninhalt nicht als Flüssigkeit anerkennen, glauben, dass er fest sei; so antworten wir: Nein, und wenn wir gefragt werden, ob er denn doch flüssig sei, so antworten wir wieder: Nein. Die Bezeichnungen fest und flüssig, wie sie in der Physik Geltung haben, finden auf die Gebilde, mit denen wir es hier zu thun haben, in ihrer Gesammtheit keine Anwendung.

Ich kann den Aggregatzustand des Zellenleibes weder mit dem des Eisens, des Bleies oder Schwefels im festen,

noch mit dem dieser Körper im flüssigen Zustande vergleichen, und die Frage, ob der lebendige Zellenleib fest oder flüssig sei, ist im Grunde ebenso absurd, als wenn ich fragen wollte, ob der Leib einer Qualle oder [**402**] einer Schnecke fest oder flüssig sei, in dem Sinne, welchen die Physik diesen Ausdrücken beilegt. Auch mit den Ausdrücken für die sogenannten gemischten Aggregatzustände reichen wir nicht aus und wenn wir sagen, der Zelleninhalt sei eine schleimige, oder eine gallertartige oder sulzige Masse, so ist dies nicht besser, als wenn jemand, der von der Organisation der Medusen nichts weiss, dieselben als sulzige Massen, als belebte Gallerte bezeichnen wollte.

Wir werden mit Nothwendigkeit dazu geführt, im Zelleninhalte einen im Verhältniss complicirten Bau zu erkennen, wenn wir die Lebenserscheinungen berücksichtigen, welche wir an demselben wahrnehmen. Fassen wir zunächst nur einen Punkt ins Auge, die Bewegungserscheinungen.

Es ist hinreichend bewiesen und allgemein anerkannt, dass die contractile Substanz der quergestreiften Muskeln aus dem Zelleninhalte entsteht. Wir haben ferner an derselben schon jetzt mit unseren unvollkommenen Hülfsmitteln einen ziemlich complicirten Bau erkannt. Wir haben aus den Erscheinungen, welche sie im gemeinen und polarisirten Lichte zeigen, und namentlich aus der Unveränderlichkeit der optischen Constanten während der Contraction geschlossen, dass die *Sarcous elements*, aus denen einerseits die Fibrillen, andererseits die *Bowman*'schen Scheiben bestehen, wiederum aus Flüssigkeit und aus ausserordentlich viel kleineren Körpern zusammengesetzt sind, für welche ich den Namen der Disdiaklasten vorgeschlagen habe.

Die Untersuchungen, welche *Margo* am Schliessmuskel der Bivalven anstellte, haben ferner gezeigt, dass Muskeln, welche man bisher als glatte betrachtete, sich bei Anwendung starker Vergrösserungen als quergestreifte erwiesen und wie diese *Sarcous elements* enthalten, die sich nur durch ihre geringere Grösse von denen der willkürlichen Muskeln der Wirbelthiere unterscheiden. Es liegt die Vermuthung nahe, dass es sich bei allen übrigen sogenannten glatten Muskelfasern oder contractilen Faserzellen ebenso verhalte. Wenigstens kann Niemand behaupten, dass wir ein Recht haben, ihnen einen wesentlich einfacheren Bau zuzuschreiben, und doch sind hier die Contractilitätserscheinungen verhältnissmässig

einfache. Wir haben hier nur Zellen, die nach zwei entgegengesetzten Richtungen ausgewachsen sind und sich in der Richtung ihrer Längsaxe auf angebrachte Reize verkürzen. Wir kennen aber noch andere Zellen, die sich in zahlreiche Ausläufer verzweigen, die alle sich [403] auf Reize zusammenziehen, ja derartig eingezogen werden können, dass die vorher weit und vielfach verzweigte Zelle nunmehr als ein rundlicher Klumpen erscheint. Wir kennen solche Zellen mit Fortsätzen, welche alle gegen die äussere Hautoberfläche gerichtet sind, bei den Chamäleonen, und solche, deren Fortsätze nach allen Richtungen parallel mit der Hautoberfläche sich verbreiten, bei den Fröschen, und wahrscheinlich kommen dergleichen bewegliche Zellen bei allen Amphibien vor, an denen man Farbenwechsel beobachtet. Welches Recht haben wir, anzunehmen, dass die contractile Substanz, welche hier den Zellenleib in allen Richtungen bis in seine entferntesten Ausläufer durchsetzt, einfacher gebaut sei, als der contractile Muskelinhalt. Es ist möglich, dass sie wesentlich anders gebaut ist, aber ob einfacher oder complicirter, das zu sagen, sind wir bis jetzt völlig ausser Stande.

Haben wir doch bis jetzt keine Art von contractiler Substanz so weit erforscht, dass wir einen Zusammenhang kennten zwischen ihrer Structur und ihren physiologischen Eigenschaften.

An den Pigmentzellen konnten die Bewegungen leicht beobachtet werden, weil das Pigment sie in so auffälliger Weise von ihrer Umgebung unterschied. Wo dies Hülfsmittel fehlt, sind gewiss zahlreiche Bewegungen von Zellen übersehen worden, und doch ist schon jetzt die Menge der vorliegenden Beobachtungen keine geringe. Zellen in Gewebe eingeschlossen und Zellen frei in Flüssigkeit schwimmend wie die Lymphkörper von Wirbelthieren und die Blutkörper von Wirbellosen haben Bewegungen gezeigt.

An vielen Pflanzen hat man sich überzeugt, dass die sogenannten Zellsaftströmungen in der That nicht Strömungen einer freien, die Zellenhöhle gleichmässig erfüllenden Flüssigkeit und auch nicht Bewegungen kleiner Moleküle in dieser Flüssigkeit sind, sondern dass die Bewegung vom Protoplasma, mit anderen Worten, vom lebendigen Zellenleibe ausgeht[1]). Eine

---

[1]) Es scheint mir, dass noch jetzt die sogenannte Zellsaftcirculation nicht für alle Fälle richtig aufgefasst wird. Ich habe

ähnlich irrthümliche Auffassung [404] wie sie hier früher statthatte, scheint es mir zu sein, wenn man die sogenannte

---

bisher nur ein Object so genau studirt, dass ich mir ein Urtheil darüber erlaube: die Brennhaare der Nesseln. Ich kann hier zunächst das, was man als die Strömchen des Protoplasma bezeichnet, nicht als solche anerkennen. Ich finde die ganze innere Oberfläche mit einer Schicht von Protoplasma überzogen, und die sogenannten Strömchen erscheinen mir als leistenartige oder wulstartige Hervorragungen dieser Protoplasmaschicht. Vielleicht kommen darunter auch Stränge vor, welche frei durch die centrale Höhle [404] hindurchgehen, ich habe aber bis jetzt noch keine Gelegenheit gefunden, mich davon mit Bestimmtheit zu überzeugen. Was ferner die Bewegung anlangt, so lassen sich deutlich zwei Arten derselben unterscheiden: eine langsame, ziehende oder kriechende, von dieser hängen die Veränderungen in der Anordnung der Protoplasmamassen ab; ferner eine zweite schnellere, fliessende, welche man an der Bewegung der zahlreichen Körnchen wahrnimmt, die sich in der gesammten Protoplasmamasse finden. Es wird gewöhnlich so dargestellt, als ob sich die ganze Protoplasmamasse in einer fliessenden Bewegung befände und die Körnchen nur passiv mitgeschleppt würden; ich muss dies aber in Rücksicht auf mein Object entschieden in Abrede stellen. Es ist freilich der Schein einer solchen fliessenden Bewegung vorhanden, aber dieser wird theils, wie es ja auch bei den Muskeln geschieht, durch Contractionsbewegungen des Protoplasma hervorgebracht, theils rührt es her von den Körnchen, welche sich nicht im deutlichen Sehen befinden. Indem diese nicht als solche sichtbar sind, bringen sie, wenn ich mich so ausdrücken darf, kleine schwache Nebelflecke hervor, welche sich in der Stromesrichtung bewegen, so dass es dadurch das Ansehen hat, als ob das ganze Protoplasma in einer fliessenden Bewegung begriffen sei. Dass dies in der That nicht der Fall, behaupte ich aus folgenden Gründen: Erstens sieht man, und zwar oft in ganz schmalen Bahnen (den sogenannten Strömchen) Kügelchen in entgegengesetzter Richtung fliessen und sich vibrirend um einander herumbewegen, wie es ganz unmöglich wäre, wenn man es hier, wie es gewöhnlich angegeben wird, mit dem Fliessen einer zähen Flüssigkeit zu thun hätte; zweitens kann man die Bewegungen des Protoplasma's ganz deutlich von denen der Körnchen unterscheiden. Es ist zu dem Zwecke am besten den Basaltheil der Zelle in geringer Entfernung von der Zellengruppe, in die derselbe eingepflanzt ist, bei starker Vergrösserung (Hartnak syst. à immersion Nr. 10, Ocul. 3) so einzustellen, dass die Mittelebene im deutlichen Sehen ist und somit der Durchschnitt der Protoplasmamasse zur Anschauung kommt. Man kann dann bei anhaltender Beobachtung oft ganz deutlich sehen, wie dieselbe wulstartige Hervorragungen gegen das Innere treibt, die eine Zeit lang stehen, ihre Gestalt verändern und endlich wieder verschwinden. Unabhängig geht daneben die Bewegung der Körnchen fort. Das sogenannte Protoplasma erscheint hiernach als der contractile Zellenleib, der an der Basis eine, vermöge seiner leisten- und wulstartigen

Molekularbewegung in den Speichelkörperchen ansieht, als eine Bewegung kleiner Körnchen innerhalb eines Bläschens mit flüssigem Inhalte.

Ich habe schon oben erwähnt, dass ich beim Comprimiren niemals ein solches Bläschen platzen und den Inhalt freigeben sah, sondern dass die Zelle in einen flachen Kuchen zusammengequetscht wurde, welcher noch alle Körnchen enthielt, die aber nun für immer ihre Bewegung verloren hatten. Dies deutet vielmehr darauf hin, [405] dass die Körnchen Bestandtheile eines kleinen Organismus waren, der durch die Quetschung getödtet und seiner Motilität beraubt wurde.

Bedenken wir, wie complicirt die mechanischen Einrichtungen sein müssen, welche den besprochenen Bewegungen zu Grunde liegen, und bedenken wir, dass wir bis jetzt eben nur die mittelst des Mikroskops wahrnehmbaren Bewegungserscheinungen berücksichtigt haben. Wir haben damit einen Kreis von Erscheinungen ins Auge gefasst, der, wenn wir einen Vergleich in Beziehung auf grössere Thiere anstellen wollen, an Ausdehnung etwa den mit blossen Augen sichtbaren Bewegungen derselben entsprechen mag. Wir haben noch keine Rücksicht genommen auf die Einrichtungen, vermöge welcher der kleine Organismus sich ernährt, wächst und seines Gleichen erzeugt, wir haben noch keine Rücksicht genommen auf die Einrichtungen, vermöge welcher er specifische Wirkungen ausübt, je nachdem er Nervenzelle, Drüsenzelle u. s. w. ist.

Bedenken wir dies alles, so müssen wir anerkennen, dass wir es mit Organismen zu thun haben, deren Complication wir zwar insofern nicht mit der der Thiere vergleichen können, als wir bis jetzt kein Recht haben anzunehmen, dass sie sich wieder aus zahllosen kleinen Organismen zusammensetzen, von denen wir aber immerhin zugeben müssen, dass sie einen höchst kunstvollen Bau darstellen, dessen wesentliche architektonische Elemente unseren Blicken bis jetzt vollständig entzogen sind. Alle diese Elementarorganismen, thierische und pflanzliche, sehen in ihrer ersten Jugend einander ähnlich,

---

Vorsprünge unregelmässige Höhle einschliesst und von einer Flüssigkeit durchströmt wird, welche zahlreiche kleine Körnchen enthält. Diese Flüssigkeit mit dem Blute des Thierleibes zu vergleichen liegt nahe genug; eine solche Analogie aber ist werthlos, so lange wir nicht mehr als jetzt über den Bau und den Haushalt des Zellenleibes wissen.

wie auch die Embryonen der einzelnen Thierkreise, der Wirbelthiere, der Gliederthiere, der Kephalopoden und so weiter einander ähnlicher sehen, als die entwickelten Thiere. Die Beobachtung dieser Thatsache war der grosse Fund, der *Theodor Schwann* in den Stand setzte, die ganze Gewebelehre mit einem so hellen Lichte zu erleuchten; in Rücksicht auf die Punkte aber, durch welche seiner Meinung nach diese äussere Aehnlichkeit im inneren Bau begründet sein sollte, verfiel er in wesentliche Irrthümer.

Das Schema: Feste Zellmembran, von Hause aus flüssiger Zelleninhalt und Zellenkern mit Kernkörperchen, ist für uns werthlos geworden, ja die Zeit ist herangerückt, wo das Anklammern an dasselbe für die weitere Entwickelung der Histologie geradezu schädlich wirkt, denn um seinetwillen werden Membranen angenommen, wo [**406**] keine nachgewiesen worden sind, um seinetwillen wird der Zelleninhalt, so lange nicht im speciellen Falle geradezu das Gegentheil dargethan ist, als eine Flüssigkeit behandelt, um seinetwillen muss jede Zelle einmal einen Kern gehabt haben, wenn derselbe auch nie gesehen worden ist, um seinetwillen werden Intercellularsubstanzen angenommen, deren selbständige von den Zellen unabhängige Entwickelung sich wiederum nicht nachweisen lässt, ja im höchsten Grade unwahrscheinlich ist u. s. w.

Da der Name »Zellen« so eng mit diesem Schema verbunden ist, so würde ich vorschlagen, ihn ganz zu verbannen, wenn sich an ihn nicht eine so ruhmvolle Periode der Histologie knüpfte. Wenn man sich von jenem Schema losgemacht hat, kann man die Elementarorganismen nach wie vor Zellen nennen, man wird darum doch wissen, was darunter zu verstehen sei, und spätere Generationen werden sich dabei der rüstigen Streiter erinnern, welche unter dem Banner der Zellentheorie das gesammte Feld der Histologie erobert haben.

IV.

Das Verhalten der sogenannten Protoplasmaströme in den Brennhaaren von Urtica urens gegen die Schläge des Magnetelektromotors.

Von

Prof. **E. Brücke,**

wirklichem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

(Vorgelegt in der Sitzung vom 20. Juni 1862.)

Aus Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wissensch. in Wien.
Mathem.-naturw. Cl. 46. Bd. II. Abth. 1862.

Vor etwa acht Monaten habe ich in einem Aufsatze, überschrieben »die Elementarorganismen« (diese Berichte Bd. 44, Abth. 2, S. 381), unter anderem nachzuweisen gesucht, dass die sogenannten Protoplasmaströmchen in den Brennhaaren der Nesseln diesen Namen nicht verdienen, dass man es vielmehr mit einem lebendigen, contractilen Zellenleibe, einem Elementarorganismus, zu thun hat, in welchem eine körnerreiche Flüssigkeit fortbewegt wird.

Die Erfolge, welche ich neuerlich bei der Anwendung des Magnetelektromotors auf weisse Blutkörperchen, Eiter- und Speichelkörperchen eintreten sah, haben mich veranlasst, auch die Brennhaare seiner Einwirkung auszusetzen und zwar mit denselben Hülfsmitteln, deren ich mich bei den oben erwähnten Versuchen bediente. (Diese Berichte Bd. XLIV, Abth. 2, S. 381.)

Ich unterscheide an der grossen Zelle, welche wesentlich das Brennhaar bildet, die äussere starre Wand, das Gehäuse, ferner das sogenannte Protoplasma sammt dem Kern, welche ich gemäss den in meiner eingangs erwähnten Abhandlung aufgestellten Grundsätzen zusammen als den Zellenleib

bezeichnen werde, und endlich drittens die klare Flüssigkeit in der Zelle, welche ich Intracellularflüssigkeit κατ' ἐξοχήν nennen will. Diese drei Gebilde sind wie bekannt in der Weise über einander geschichtet, dass der Zellenleib mit seiner ganzen äusseren Oberfläche dem Gehäuse anliegt, an seiner ganzen innern Oberfläche von der Intracellularflüssigkeit bespült wird.

Wenn man bei starker Vergrösserung das Mikroskop so einstellt, dass die Mittelebene des Haares sich im deutlichen Sehen befindet, so unterscheidet man am leichtesten die eigenen Bewegungen des Zellenleibes von denen der körnerreichen Flüssigkeit, welche in ihm strömt. Man sieht dann seinen optischen Längsschnitt [36] und einerseits die Körnchen, die sich in ihm fortbewegen, andererseits die Wülste, die er gegen die Intracellularflüssigkeit austreibt: man sieht, wie sie wachsen, wie sie ihren Ort verändern und wie sie wieder vergehen.

Man wird sich durch das Fortrücken des Wulstes nicht täuschen lassen, zu glauben, dass das sogenannte Protoplasma fliesse; denn man weiss, dass eine Contractionswelle der Länge nach über eine grosse Muskelfaser abläuft und schliesslich alle Theile derselben doch wieder am alten Orte sind. Selbst wenn ein singulär gebildeter Theil des Zellenleibes durch das ganze Sehfeld fortrückt, darf man sich dadurch nicht verführen lassen in den alten Irrthum zurückzufallen. Ich habe solche Theile verfolgt und gefunden, dass sie endlich still stehen und dann langsam wieder gegen ihren früheren Ort hin zurückkehren. Die Bewegung war kein Fliessen, sie war eine Folge der Contractilität.

Ich kann nicht sagen, ob diese Contractionen die einzige Ursache der Bewegung der körnerreichen Flüssigkeit im Zellenleibe sind, aber dass sie auf dieselbe einen wesentlichen Einfluss üben müssen, versteht sich wohl von selbst.

Beide Bewegungen nun werden durch eine hinreichend kräftige und hinreichend langdauernde Einwirkung des Magnetelektromotors vollständig aufgehoben, der Zellenleib wird in eine todte, sich später meistens nach und nach vom Gehäuse ablösende Masse verwandelt.

Um die Wirkung der elektrischen Ströme in ihren einzelnen Stadien zu verfolgen, thut man am besten den Kreis anfangs nur für eine oder einige Secunden zu schliessen, so dass das Haar eine kurze Reihe von Schlägen erhält. Die

erste Veränderung, die man dann wahrnimmt, besteht in der Regel in dem Erscheinen einer grösseren oder geringeren Menge von Fäden, welche vom Zellenleibe aus in die Intracellularflüssigkeit hineinragen. Ich habe sie nicht immer, aber doch bei weitem in der Mehrzahl der Fälle gesehen, und da sie von wechselnder Dicke, oft äusserst dünn sind, so mögen sie sich wohl das eine oder das andere Mal der Beobachtung entzogen haben. Manchmal sieht man sie wie Raketen aus dem Zellenleibe hervorschiessen, sobald man den Kreis des Magnetelektromotors schliesst. Sie haben oft eine beträchtliche Länge; ich habe deren solche beobachtet, die im gestreckten Zustande bis zur Axe in das Innere des [37] Haares hineinragten. An ihrem Ende tragen sie eine grössere oder kleinere Anschwellung, und man sieht sie in einer fortwährenden bald schwächeren bald stärkeren zitternden oder schlängelnden Bewegung begriffen.

Bisweilen sieht man neben den Fäden auch stärkere kolben- oder keulenartige Gebilde hervortreten.

Hatte die Einwirkung der Ströme einen gewissen Grad nicht überstiegen, so kann hierbei das Fliessen der körnerreichen Flüssigkeit im Zellenleibe noch eine Weile fortdauern, ja es kommt häufig vor, dass die Fäden und Kolben wieder verschwinden und der normale Zustand, so weit die Anschauung darüber Aufschluss giebt, wieder hergestellt ist. Bisweilen geschieht dies nur in einem Theile des Zellenleibes, während der andere nach und nach abstirbt. Wo ich dies beobachtete, war es die Spitze, welche abstarb, die im dickeren Theile des Haares gelegene grössere Partie des Zellenleibes, die sich erholte.

War die Einwirkung heftiger oder schliesst man den Kreis des Magnetelektromotors von neuem, so hört das Fliessen sofort auf und man sieht die Körnchen nur noch in einer unregelmässigen Bewegung, die ganz den Charakter der unter dem Namen der Molekularbewegung bekannten Erscheinung trägt.

Indessen hat sich das Ansehen der inneren Oberfläche noch mannigfach verändert, man sieht verschieden geformte Excrescenzen, sphäroidische Massen, die mit der Oberfläche nur durch einen ganz kurzen und dünnen Hals zusammenhängen und in denen einige Körnchen sich herumtummeln. Der innere Contour im Allgemeinen hat an Schärfe und Deutlichkeit verloren: im Innern des Zellenleibes sieht man oft-

mals Figuren wie von aneinander gedrängten Blasenräumen entstehen.

In der bisher vollständig reinen und klaren Intracellularflüssigkeit erscheinen nun Körnchen, die zu kleinen Gruppen vereinigt Molekularbewegung zeigen. Ob sie an und für sich das eine am anderen haften, oder ob sie durch ein hyalines Bindemittel mit einander vereinigt sind, konnte ich nicht entscheiden. Diese Körnchengruppen mehren sich, sie verlieren ihre Bewegung und senken sich zu Boden, während zugleich die Bewegung der Körnchen im Zellenleibe, wenn dies nicht schon früher geschehen ist, vollständig aufhört.

[38] Hiermit ist jede Lebenserscheinung an der Zelle erloschen. Der Zellenleib ist eine abgestorbene, trübe, körnige Masse, die sich nach einiger Zeit erst stellenweise, dann in grössere Ausdehnung von der Zellwand abzulösen und zu schrumpfen pflegt, so dass man sie nach längerer Zeit oft als ein schlaffes schlauchartiges Gebilde in dem Gehäuse liegen sieht; bisweilen ist sie auch an einer oder mehreren Stellen zerrissen, wahrscheinlich weil sie dem Gehäuse local fester anhaftete und deshalb beim Schrumpfen einen Widerstand erfuhr, der schwerer als die Festigkeit des eigenen Baues zu überwinden war.

Biographisches und Anmerkungen.

Ernst Brücke war der Sohn des Historie- und Porträtmalers Johann Gottfried Brücke in Berlin und wurde am 6. Juni 1819 geboren. Nachdem er in Stralsund, seiner zweiten Heimath, das Gymnasium besucht hatte, studirte er in Heidelberg und Berlin. Bald trat der junge Forscher, der 1842 zum Doctor der Medicin promovirt worden war, in nähere Beziehungen zu *Johannes Müller*, dessen Assistent am Museum für vergleichende Anatomie er 1843 wurde. Im nächsten Jahre habilitirte er sich in Berlin für Physiologie, seit 1846 hielt er auch in der Akademie für bildende Künste die Vorträge über Anatomie. Nach einem kurzen Aufenthalte als ausserordentlicher Professor in Königsberg (1848) übernahm er 1849 die ordentliche Professur für Physiologie an der Wiener Universität. Hier war er bis zu seinem 70. Lebensjahr als Lehrer und Forscher unermüdlich thätig, umgeben von zahlreichen Schülern, denen in Wien durch *Brücke* überhaupt die erste Gelegenheit zu eigenen, physiologischen und histologischen Forschungen geboten wurde. Im Jahre 1889 trat er in den Ruhestand, den er nur wenige Jahre geniessen konnte; schon 1892, am 7. Januar, erlag er der Influenza.

Auszeichnungen aller Art wurden ihm zu Theil, von denen nur der Orden pour le mérite und der österreichische Leopoldsorden, durch den er in den erblichen Ritterstand erhoben wurde, genannt sein mögen. Zum lebenslänglichen Mitglied des österreichischen Herrenhauses wurde er 1879 ernannt.

Brücke's Arbeiten zeichnen sich durch vorurtheilslose Beobachtung und logische Verarbeitung des Gefundenen aus, eine behagliche Ruhe liegt über der klaren, von jeder Phrase und allem Prunke freien Darstellung, die auch heute noch und

vielleicht heute erst recht ein Muster wissenschaftlicher Schreibweise ist.

Der Physiologie verdankt *Brücke* das erste Recept zur Reingewinnung des Pepsins, wodurch er wesentlich zur Kenntniss der Enzyme beitrug, ferner mikroskopisch-physiologische Untersuchungen über Farben und Farbenwechsel bei Thieren. (*Ostwald*'s Klassiker No. 43, Chamaeleon.) Auch zahlreiche Beiträge zur Nerven- und Muskelphysiologie, zur Blutlehre, über den feineren Bau der Muskelfaser und viele andere finden sich unter den 130 Abhandlungen, die *Brücke* veröffentlicht hat. In zwei Bänden gab er seine Vorlesungen über Physiologie heraus. Weit über die engeren Grenzen seiner Wissenschaft griff er hinaus in den Grundzügen zur Physiologie der Sprachlaute für Linguisten und Taubstummenlehrer (Wien 1856, 2. Aufl. 1876). In einer Abhandlung »Neue Methode der phonetischen Transscription« (1863) begründete er eine neue, von den herkömmlichen Buchstaben unabhängige Lautzeichenschrift, deren einzelne Elemente die Stelle und Art der Articulation, den Zustand der Stimmritze, kurz die zur Erzeugung jedes Lautes nöthige Verwendung der Sprachorgane ausdrücken und die Laute aller Sprachen auf gemeinsamer Basis darzustellen gestatten. Eine weitere Frucht seiner phonetischen Studien sind die 1871 erschienenen »physiologischen Grundlagen der neuhochdeutschen Verskunst«. Sein Kunstsinn, der weit über den eines feinfühligen Museumbesuchers hinausging, bekundet sich in den Bruchstücken aus der Theorie der bildenden Künste (Leipzig 1877). Der Ausgangspunkt und die Grundlage für alle diese Schriften waren physiologische Forschungen, die *Brücke* in meisterhafter Vielseitigkeit auch auf andere Gebiete des menschlichen Forschens zu übertragen verstand.

Der Pflanzenphysiologie wandte sich *Brücke* schon in Berlin zu, dort entstanden die beiden ersten der hier abgedruckten Abhandlungen.

Später hat er zwar speciell botanische Fragen nicht wieder bearbeitet, aber er griff stets auf die Pflanzen als geeignetste Objecte zur Lösung allgemeiner Probleme (III. u. IV. Abhandlung) zurück. Im Interesse der Pflanzenphysiologie ist es zu beklagen, dass ihr *Brücke* später nicht mehr seine Arbeitskraft widmete.

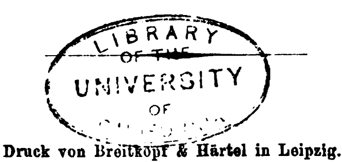
Die Abhandlung über das Bluten des Rebstockes bringt wesentliche Ergänzungen zu den grundlegenden Untersuchungen

von *Hales* und *Dutrochet* und trug besonders durch den Nachweis, dass die lebenden Zellen und nicht die Gefässe den Blutungsdruck erzeugen, zur Klärung des Problemes bei.

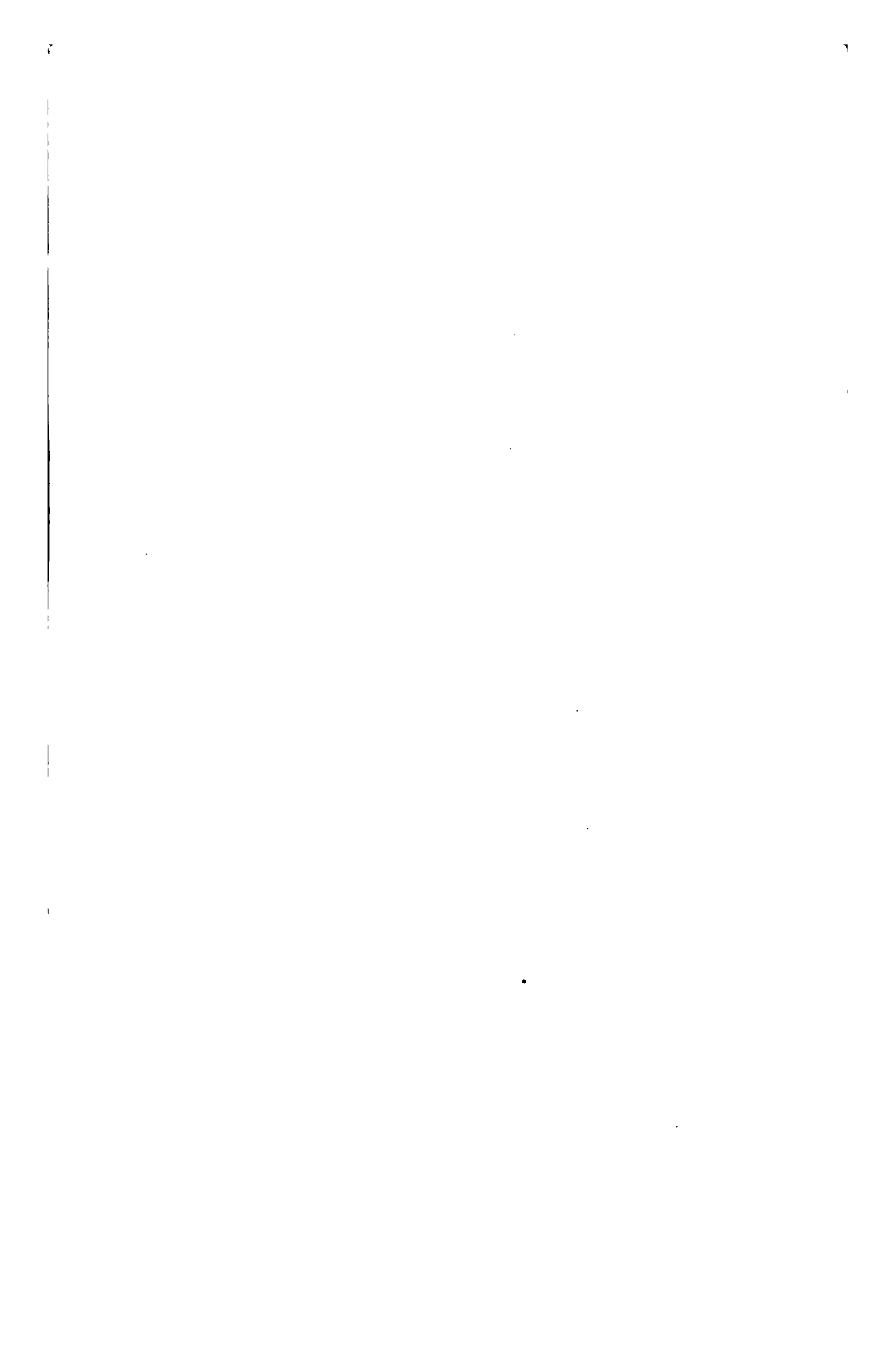
In der werthvollen zweiten Arbeit über die Bewegungen der Mimosa pudica (1848) wird zum ersten Male der Unterschied zwischen den Reizbewegungen und den ihnen äusserlich ähnlichen und ihnen bisher gleichgestellten Schlafbewegungen hervorgehoben; ferner bewies *Brücke*, dass nur die untere Gelenkhälfte reizbar ist, dass also alle Reizbewegungen fortbestehen, wenn nur die obere Hälfte weggenommen wird. Die Beziehungen und Spannungen zwischen dem Gefässbündel und dem es umgebenden saftreichen Parenchym werden untersucht, der Mechanismus der Bewegungen wird auf Wasserverschiebungen in den antagonistischen Gelenkhälften zurückgeführt. Die Methodik und Theorie *Brücke*'s wurden zur Grundlage für alle späteren Untersuchungen über die Mimose.

Allgemeine Fragen der Zellenlehre, vorwiegend von der thierischen Zelle ausgehend, aber die der Pflanzen stets berücksichtigend, behandelt der berühmte Aufsatz über die Elementarorganismen (1861). Wie ein Programm für die neuere Zellforschung liest sich *Brücke*'s Forderung, dass dem Protoplasma und dem Kern selbst noch eine fester gefügte Organisation zukommen müsse, dass sie nicht bloss als Lösungen und Bläschen betrachtet werden dürften. Was *Brücke* über die Rolle der Zellkerne bei der Theilung sagt, trifft zum Theil heute noch zu, und mancher Forscher, der in der Ueberschätzung des Kernes zu weit geht, wird vielleicht durch *Brücke* auf den rechten Weg zurück sich führen lassen. Von grosser Bedeutung für die damalige Zeit war der Gedanke, dass alle Gewebselemente, und wenn sie noch so sehr von der Zelle in Gestalt und Beschaffenheit abweichen sollten, doch aus Zellen entstanden und nur durch Zellen erzeugt sein könnten. Die neuere Forschung hat auch hierin *Brücke*'s Voraussetzung bestätigt.

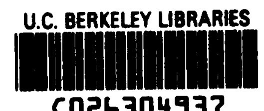
Der letzte kleine Aufsatz endlich schildert die durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Vorgänge im Protoplasma.



Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.







werden durch hervorragende Vertreter schaften besorgt werden. Die Leitung der einzelnen Abtheilungen übernahmen: für Astronomie Prof. Dr. Bruns (Leipzig), für Mathematik Prof. Dr. Wangerin (Halle), für Krystallkunde Prof. Dr. Groth (München), für Pflanzenphysiologie Prof. Dr. W. Pfeffer (Leipzig), für Chemie Prof. Dr. W. Ostwald (Leipzig), für Physik Prof. Dr. Arthur von Oettingen (Leipzig).

Um die Anschaffung der Klassiker der exakten Wissenschaften Jedem zu ermöglichen und ihnen weiteste Verbreitung zu sichern, ist der Preis für den Druckbogen à 16 Seiten von jetzt an auf *M* —.25 festgesetzt worden. Textliche Abbildungen und Tafeln jedoch machen eine entsprechende Preiserhöhung erforderlich.

Erschienen sind bis jetzt aus [illegible] der

Botan[illegible]

Nr. 15. **Théod. de Saussure,** Chem. [illegible] getation. (1804.) 1 Hälfte. Mit 1 Taf. Ü[illegible] (96 S.) *M* 1.80.

» 16. —— —— 2. Hälfte. [illegible] 113 S.) *M* 1.80.

» 39. **L. Pasteur,** Die in[illegible] nen organisirten Körperchen. [illegible] g. (1862.) Übersetzt von A. [illegible]).

» 41. **D. Joseph** [illegible] richt von einigen das Ge[illegible] ersuchen und Beobach[illegible] 1761—1766.) Herausge[illegible].

» 48. C[illegible] entdeckte Geheimniss der Na[illegible] ung der Blumen. (1793.) Herausgegeben von Paul Knuth. In vier Bändchen. Erstes Bändchen. (184 S.) *M* 2.—.

» 49. —— —— Zweites Bändchen. (172 S.) *M* 2.—.

» 50. —— —— Drittes Bändchen. (180 S.) *M* 2.—.

» 51. —— —— Viertes Bändchen. (7 S. u. 25 Tafeln.) *M* 2.—.

» 62. **Thomas Andrew Knight,** Sechs pflanzenphysiologische Abhandlungen. (1803—1812.) Uebersetzt und herausgegeben von H. Ambronn. (63 S.) *M* 1.—.

» 95. **Ernst v. Brücke,** Pflanzenphysiologische Abhandlungen. I. Bluten des Rebstockes. II. Bewegungen der Mimosa pudica. III. Elementarorganismen. IV. Brennhaare von Urtica. (1844—1862.) Herausgegeben von A. Fischer. Mit 9 Textfiguren. (86 S.) *M* 1.40.

Wilhelm Engelmann.